



CHISA

Chemické strojnictví

Химическое машиностроение

Chemical Equipment Design

Chemie Apparatebau

4. 9. 1962

Předběžné neopravené vydání

Предварительный выпуск

Uncorrected preprint

Unkorrigierte Voraussgabe

BRNO - ČSSR



THE CONTEMPORARY POSITION IN THE DEVELOPMENT OF
CENTRIFUGAL COMPRESSORS IN CZECHOSLOVAKIA.

Paper to be presented at the CHISA Congress, Brno-ČSSR
Ing. František Wergner.

In recent years centrifugal compressors began to be used in the manufacturing plants of the chemical industry. They are employed mainly for two purposes. One of them being the compression of gases and their transport into other sections of the plant where the gases are further processed into various products. The other use of centrifugal compressors being in refrigeration for the production of low temperatures. Such machines have been lately in particular demand by the petroleum distilling industry where low temperatures are employed for the separation of hydrocarbons, in the production of synthetic alcohol, in the manufacture of plastics and for other purposes.

Centrifugal compressors are an important part of the mechanical section of a chemical manufacturing plant, as they are large consumers of energy, the cost of which often being a considerable share in the final production costs.

The rapid development of the chemical industries which has taken place in recent years at home as well as abroad, has given the impulse to the development of centrifugal compressors, also called turbocompressors, at our national enterprise ČKD - Praha. Besides machi-

nes for compressing air, turbocompressors are manufactured for the compression of oxygen, coke oven gas, various hydrocarbons, carbon dioxide, nitrous gases and a number of other gases and their mixtures.

In the refrigeration line we have developed turbo-compressors for the compression of Freon F12, propane, propylene, their mixtures, ammonia and ethylene.

The object of this paper is to present a report about the solution of some of the problems which were encountered in the development of these machines.

In the first place it may be necessary to mention some facts about the effect which the kind of gas has on its compression in a turbocompressor. Whilst it is immaterial what kind of gas is being compressed in a positive displacement machine /e.g. in a piston or a vane compressor/ it is of considerable importance in a turbocompressor where the degree of compression accomplished in one stage depends on the molecular weight of the gas. The degree of compression of the given gas is advantageously arrived at by the relation ^{between} the peripheral speed of the tips of the turbine blades and the velocity of sound in the gas. The velocity of sound is taken at the density of gas at the inlet of the first stage. This velocity of sound is given by the equation

$$a_0 = \sqrt{k g p_0 v_0} = \sqrt{k g R T_0} = \sqrt{k g \frac{848}{m} T_0} = 91,2 \sqrt{\frac{k T_0}{m}}$$

Table 1.

As can be noted, the velocity of sound in the given gas inversely proportional to its molecular weight.

In the above equation

- k is the adiabatic exponent
- T₀ the temperature at the inlet side of the given stage
- m the molecular weight
- g acceleration of gravity

For the compression in one stage the following expression can be derived:

$$\epsilon = \left[1 + (k-1) \sigma_2 \eta_{ad} \left(\frac{u_2}{a_0} \right)^2 \right]^{\frac{k}{k-1}}$$

Where

η_{ad} the adiabatic efficiency of the stage

σ_2 the slip factor

u_2 peripheral velocity

In the formula is evident the relationship on $\frac{u_2}{a_0}$.
 Fig. 1. This relationship is shown in Fig. 1. for three types of impellers which are used in turbocompressors for the chemical industry. One is the impeller of the pump type with exit angle of 21° , the other is the impeller of the compressor type with exit angle of 45° and the third is the slow mix impeller with exit angle of 90° .

The relationship $\frac{u_2}{a_0}$ on which the degree of compression depends, cannot be increased at will. The limitation which is forced on the designer ~~the designer~~ is that the velocity of the stream at any one point in the stage, shall not reach the velocity of sound in the gas under the given conditions. Should the velocity of streaming reach the velocity of sound, shock waves would be produced which give rise to eddy currents,
 Fig. 2. as can be clearly seen in Fig. 2. The origin of shock waves upon the entry to the mixed flow impeller was ascertained during static experiments by photography.

The limitation imposed by the velocity of sound is sometimes quite considerable, particularly in the case of some refrigerants which
 Fig. 3. are used in compressors for refrigerating pur-

Fig.4. poses. From the point of view of structural strength it is now possible to use peripheral speeds of approximately 300 metres per sec, in compressor type impellers with an exit angle of 45° and about 400 metres/sec. in mixed flow impellers shown in Fig. 4. if high alloy steels are used in their manufacture. The contemporary technology makes it even possible to use other high grade materials such as titanium alloys which not only have a higher strength than alloy steels but also low specific weight about $4,5\text{g/cm}^3$ which is of advantage in view of the stresses set up by the centrifugal forces. When employing such alloys it is possible to increase the peripheral speed up to 450 m/sec. in ordinary impellers and up to 500 metres/sec. in mixed flow impellers. Such high peripheral speeds can be utilized only when compressing gases of low molecular weight such as hydrogen, ammonia, etc.

From the point of view of design and construction, turbocompressors for chemical gases do not differ greatly from the conventional machines for compressing air. In some cases they differ in the parts which seal the compressor during operation and when idle. Sometimes ^{the} seal must be perfectly gas tight, as any leakage of gas might be a serious matter due ^{to} the high price of gas, as is the case of refrigerating media such as Freon. Or the gas may form an explosive mixture with air as some hydrocarbons do.

For sealing the machine at rest we use the gland **Fig.5.** which is shown diagrammatically in Fig. 5. The gland, carrying a rubber sealing ring, is attached to a piston which is operated by hydraulic pressure. Before starting up the machine, the piston is retracted

by pressurized oil to the right so that the rubber ring recedes away from the stuffing box which seals the rotor from the stator during operation. The oil for actuating the hydraulic piston is drawn from the pressure lubricating system. When the seal for the at-rest-condition is removed, oil is simultaneously introduced into the stuffing box which seals the machine while running.

In Fig.6 is shown the stuffing box which functions under operating conditions. As the result of the latest research we use axial carbon glands Fig.6. which have negligible wear and provide a practically perfect seal. The function of the stuffing box is as follows: Special sealing oil flows into the space B at a pressure somewhat higher than the pressure of the gases in the sealed space A. The space C is at atmospheric pressure. In order to prevent the ingress of oil into the rotor, a labyrinth seal is introduced between the rotating parts and the axial carbon glands. The labyrinth is supplied with a coolant at a slightly higher pressure than that prevailing in the space A.

The seal in the stuffing box is formed by ring D with nitrided sliding surfaces drawn over the shaft with which it rotates. Two rings E which can slide laterally on the shaft are pressed by flat springs F into engagement with the revolving ring D. The circumference of rings E is grooved and provided with carbon inserts of special material. Their shape is such that they engage the mating rings with only a moderate pressure at even a higher pressure of the sealing oil.

In turbocompressors where the requirements regarding sealing are not so exacting, we use normal labyrinth-sealed stuffing boxes which are kept under moderate pressure by some inert sub-

stance. In machines for compressing oxygen, the labyrinth is under pressure of nitrogen as any oxygen leaking from the compressor might set the oil in the bearings on fire. Similarly, water ^{vapour} is used in the labyrinths of machines compressing coke oven gas, etc.

At this juncture I would like to mention a few typical cases of turbocompressors which have been supplied to the chemical industry or are in course of manufacture at our works, the national enterprise ČKD - Praha.

In Fig.7. is shown the cross-section of a turbocompressor for nitrous gases for the manufacture of nitric acid.

The principal data are:

displacement 26.000 m³/hour
pressure 3,27 atmospheres
absolute
speed 5.600 r.p.m.

The turbocompressor is driven by a steam turbine rated at 1700 kW.

The frame of the compressor is a welded construction of austenitic alloy steel 18% Cr, 10% Ni and 2% Mo; the interwalls are cast of 17% chrome steel. The rotor is assembled of steel forgings with 15% Cr and 2% Ni. As the gases may contain traces of ammonium nitrate which is explosive, small amounts of dilute nitric acid are sprayed into the passages of the turbocompressor, the dilute acid wetting and eventually dissolving the dangerous nitrate deposits. In the illustration is shown an expansion turbine keyed on the shaft of the turbocompressor which reclaims the residual energy of the compressed nitrous gases.

On the further illustration in Fig. 8. is shown the high pressure section of an oxygen compressor which serves to reduce the bulk of

clearly seen in the casing of the turbocompressor in the picture.

As a further example, a sectional view of a turbocompressor for the compression of heavy hydrocarbons is shown in Fig.10.

Fig.10. In the plastics industry and in the production of synthetic rubber, a need arises for the compression of heavy hydrocarbons of a great variety of composition. What mainly influences the design of turbocompressors for such purposes is the permissible temperature rise during compression. The gas must not be heated during compression to a temperature exceeding the temperature of polymerization, as otherwise polymers would form and settle out in the passages. The limit placed on the upper temperature brings with itself the problem of regulation of the compressor. If the drive is by the means of a constant speed electric motor and the compressor should be regulated by throttling the suction, the reduced quantity of gas leads to a higher degree of compression and thereby also to a higher temperature at the discharge end. In order to make it possible to utilize the capacity of the turbocompressor in the full range of its regulation characteristics, without the danger of reaching polymerization temperatures, it is necessary to make due provisions for a sufficient reserve in the temperature range, so that the polymerization temperature in the body of the turbocompressor would not be reached. It is obvious solution is to employ a variable speed drive such as a steam that the best of a gas turbine. The main characteristics of the turbocompressor shown in Fig.10 are as follows:

Displacement 13.300 m³/hour
 discharge pressure . 13 Atmospheres absolute
 speed , 8430 r.p.m.
 driving synchronous motor rating 2000 kW
 motor speed 1500 r.p.m.

Fig.11. shows this machine in course of erection on the test stand.

In the manufacture of soda it is often required to compress mixtures of CO₂ and N₂ which may contain airborne dust in quantities of up to 10 mg/Nm³. If a high degree of compression is called for, it cannot be met without intercooling. However, intercoolers of conventional type would not only complicate the design, but would also be disadvantageous from the economic point of view, so one suitable solution is to adopt internal cooling in the turbocompressor. This is done by making the walls between all the stages hollow and to circulate cooling water through the passages thus provided. This system affords a continuous cooling through all the stages, thus preventing the condensation of water vapour contained in the gas and the formation of sludge which might block the passages.

An example of a turbocompressor to meet such conditions is in Fig.12. The machine is built in two sections, each with internal cooling. It is intended for compressing CO₂ + N₂ mixture containing 10 mg/Nm³ of dust.

The displacement of Section I is
 18.000 m³/hour
 the displacement of Section II is
 9.000 m³/hour
 discharge pressure of both sections p_k
 5 Atm.absolute
 drive by a steam turbine, with
 nominal rating of 3350 kW
 speed of the turbine 7250 r.p.m.

The trend of the future development will be in the use of impellers with the highest permissible speeds which would lead to a lower number of stages for a given pressure and hence to a reduced weight and a lower price. Another aim is to improve efficiency and so decrease the energy consumption. To achieve these ends, extensive research investigations are in progress on experimental single stage machines for the compression of air and Freon. Our endeavour is to produce machines of the highest technical standard, so that we would be always prepared to meet the diversified demands of the industry.

ENTWERFEN VON RÜHRWERKEN MIT UMLAUFRÜHRERN

J. Kvasnička

Forschungsanstalt der Královopolská strojírna
Brno, Tschechoslowakei

Die Herstellung von wirtschaftlichen, billigen und verlässlichen Rührwerken für Flüssigkeiten ist im grossen Masse von der genauen Bestimmung der Funktions- und Konstruktionsparameter des Betriebsapparates abhängig. Der Erfolg ist von einem gewissen Niveau der theoretischen Kenntnisse der Fachabteilung und der Kenntnisse des gegenwärtigen Standes des zugänglichen Wissens und der Forschung abhängig.

Die Vielfältigkeit der Anwendung der Funktion von Rührwerken erfordert die Lösung einer Reihe von schwierigen und öfter gegenseitig verschiedenen Probleme. Die technische Spezifikation der Rührwerke ist von der Lösung von Fragen technologischer Art, der Hydrodynamik, der Konstruktion, der Erzeugung, der Betriebsbedingungen u.s.w. abhängig. Der Techniker, dessen Aufgabe es ist, die Grundparameter eines Rührwerkes zu entwerfen, gewinnt die nötigen Informationen zunächst aus der sorgfältigen Analyse des Prozesses der gegebenen chemischen Technologie. Er bemüht sich das geeignetste hydrodynamische Regime für den geforderten Prozess festzustellen. Die Grundvorstellungen, die Ergebnisse der Forschung und die Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse bieten für diesen Zweck die Theorie der Vorgänge der chemischen Technologie. Die Literatur dieses speziellen Fachgebietes verfügt über sehr wichtige Informationen, die allerdings weiter verarbeitet werden müssen, und das so, damit der Zusammen-

menhang der Erkenntnisse über die Prozesse unmittelbar hervortritt mit dem Ziel das richtige Rührwerk zu entwerfen. Mit der Feststellung der Anforderungen an das Rühren von Flüssigkeiten beginnt erst die eigentliche Lösung des Apparates. Es ist notwendig erstens eine Konzeption zu bestimmen, weiters den Typ, die Ausmasse, die Anordnung und die Umdrehungen des Rührers, die Dimensionen des Antriebes und die Dimensionen der wichtigen Teile des Apparates. Die Problematik liegt in den Kenntnissen der Zusammenhänge zwischen der technischen Spezifikation des Rührwerkes, des erreichten hydrodynamischen Regimes und den ökonomischen Bedingungen. Die Literatur bietet eine Reihe von Arbeiten, die über Berechnungen der Leistungsaufnahme des Rührers und über Forschungsergebnisse der Intensität des Verlaufes des gegebenen Prozesses der chemischen Technologie in Abhängigkeiten an veränderlichen Parametern des Rührwerkes handeln.

Gegenstand der vorgelegten Arbeit ist die Forschung, die sich mit der Bestimmung der Parameter der Rührwerke mit Umlaufrührern befasst. Das Programm der Arbeitsstelle ist eine globale Verarbeitung der ganzen Problematik und die experimentelle Bestimmung der nötigen Angaben. Der grosse Umfang der gestellten Aufgabe führt zum etappenmässigen Vorlegen der erreichten Ergebnisse. Das Referat befasst sich deshalb mit dem ersten Teil der Erkenntnisse, auf die weitere Forschung laufend anknüpft. Es ist dies die Frage der genauen Bestimmung des Types, der Umdrehungen und des Rührerdurchmessers vom Standpunkt der gesamten ökonomischen Bilanz des Rührwerkes. Ziel der Arbeit war in diesem Zusammenhang die gemeinsame Betrachtung der Bedeutung der Theorie der Intensität des Prozesses und der Energie, im Hinblick auf das Endkriterium, das der Preis des Erzeugnisses ist.

Als ähnliche Arbeiten kann man blos Forschungen nennen, bei denen es Ziel war, den Wirkungsgrad des Rührers zu bestimmen. Der Nachteil dieser Forschung ist eine viel zu begrenzte Gültigkeit für die gegebenen Bedingungen. Wir wissen sehr gut auch aus der Praxis, dass zum Beispiel die Änderung der Verhältnisse des Gefässdurchmessers und des Rührers in gegebenen Umständen einen grösseren Einfluss auf die Ökonomie des entworfenen Systemes hat, als die Ausführung des eigentlichen Rührers.

Die genaue Bestimmung der Hauptparameter des Rührwerkes ist deshalb unserer Meinung nach der grundlegendste und wichtigste Teil beim Bau von Apparaten mit Rührern. Die Äusserung über den Wirkungsgrad der verglichenen Typen ist daher bloss ein Teilabschnitt der technischen Spezifikation des Entwurfes.

Der eigentliche Text des Referates ist im Zusammenhang in der bedingten Länge als Übersicht ohne weitläufige mathematische Ableitungen, Begründungen usw. verarbeitet worden.

Theorie der Bestimmung der Grundparameter ökonomischer Rührwerke

Beim Betrieb von Rührwerken unterliegt das gerührte Medium Veränderungen, die seine Eigenschaften ändern. Die nötigen Kosten zur Durchführung der gewünschten Operation erhöhen im gebührenden Masse seinen Preis. Es wird deshalb bestrebt, das Rührwerk genügend effektiv arbeiten zu lassen. Das bedeutet, es so zu entwerfen und zu erzeugen, dass der Kostenzuschlag des Rührproduktes minimal ist. Ausnahmen bilden Fälle, in denen die Frage der Funktion der Ökonomie übergeordnet ist, und in denen der Kostenaufwand des Rührers im Hinblick auf die übrigen Kosten gänzlich vernachlässigt werden kann. Der Wert der Bruttoproduktion des gegebenen Apparates ist durch das mathematische Produkt der Arbeitsproduktivität und des Preises auf die Gewichtseinheit des Erzeugnisses bestimmt. Er besteht aus der Summe des Aufwandes an Löhnen, Rohstoff, Energie, der Amortisation der Investitionen, der Regie, der Instandhaltung und der Reparaturen und der Akkumulation.

Mathematisch

$$Q = pC = mM + S + E + A + R + U + Z \quad \dots (1)$$

Der Preis des Erzeugnisses

$$C = \frac{1}{p} (mM + S + E + A + R + U + Z) \quad \dots (2)$$

Nach Einsetzen der Zeit der geforderten Arbeit, des Leistungsaufwandes des Antriebes des Rührwerkes und der exponentiellen Abhängigkeit der Investitionskosten des Apparates auf den Drehmoment, erhal-

ten wir nach mathematischen Aufbereitungen die Gleichung

$$C = \frac{\tau}{V \gamma} \left(\frac{c_2 N}{\eta} + \frac{c_3 K_2 N^b}{i \eta n^b} \right) + \frac{\tau(R+U+Z + \frac{c_4}{\eta})}{V \gamma i} + \frac{m M_n \tau_M}{V \gamma} + c_1 \quad \dots (3)$$

Die Beziehung wird bedeutend einfacher, wenn wir die Glieder, die der Bedeutung nach nicht am Typ, am Durchmesser und den Umdrehungen des Rührers abhängig sind, ausscheiden. Nehmen wir den am öftesten auftretenden Fall an, in dem ein Prozess, die Eigenschaften des Mediums, das Gefäßvolumen, d.h. Durchmesser und Höhe der Flüssigkeit und die Anforderungen an das Produkt gegeben sind. So erhalten wir folgenden Ausdruck für den Präisanstieg des Erzeugnisses.

$$\Delta C = \frac{\tau}{V \gamma} \left(\frac{c_2 N}{\eta} + \frac{c_3 K_2 N^b}{i \eta n^b} \right) + \tau \frac{R+U+Z + \frac{c_4}{\eta}}{V \gamma i} \quad \dots (4)$$

Im Vergleich mit der Gleichung (3) sind die Glieder ausgelassen worden, die die Kosten für Löhne und Rohstoff darstellen.

Die so erhaltene allgemeine Gleichung können wir nun weitergestalten durch Einführen der Funktionsbeziehung für die Parameter der Rührwerke und der Dauer der gewünschten Operation und weiter des Ausdruckes für die Abhängigkeit des Leistungsaufwandes des Rührers an den Parametern des Rührwerkes und den Eigenschaften des zu mischenden Mediums.

Betrachten wir nun weiter den in der Praxis am meisten auftretenden Fall, in dem man vom Rührvorgang einen Ausgleich der Konzentrationen oder Temperaturen verlangt, d.h. die Homogenisation. Setzen wir weiter voraus, dass der Rührer in einem Turbulenzbereich arbeitet. Für die Dauer der Homogenisation können wir beim Rühren in Turbulenz folgende Beziehung schreiben /5/

$$\tau_1 = K_5' \frac{1}{n} \left(\frac{D}{d} \right)^a \ln \frac{\bar{x}_0}{x} \quad \dots (5)$$

14

bezeichnen wir $K_3 = K_3' \ln \frac{\bar{X}_0}{X}$... (5')

in der K_3 die experimentell bestimmte Konstante darstellt, die von den Bedingungen des Versuches abhängig ist.

Die allgemeine Gleichung für den Leistungsaufwand des Rührers ist

$$N = E_u \rho n^3 d^5 \quad \dots (6)$$

worin E_u das Eulersche Kriterium des Rührers ähnlich wie K_3 die Konstante ist, die durch Messen am Modell gegeben ist. Den Ausdruck E_u kann man bei Ausscheidung des zentralen Wirbels für diesen Zweck weiter mittels folgender Beziehung ausdrücken:

$$E_u = f\left(Re, \frac{d}{D}\right) \quad \dots (7)$$

Zur Vereinfachung des Ausdruckes werden wir im Weiteren E_u ohne die Ausführung in Gleichung (7) einsetzen.

Das Ziel der mathematischen Lösung ist einen Endausdruck für den Kostenzuwachs des Erzeugnispreises zu erhalten, und das in Abhängigkeit von der Drehzahl des Rührers.

Durch Eliminierung des Rührerdurchmessers aus der Gleichung (5) und (6) erhalten wir

$$T_1 = K_3 \left(\frac{E_u \rho}{N}\right)^{\beta} n^{\delta} D^{\lambda} \quad \dots (8)$$

nach Einsetzen der Gleichung (8) in die Gleichung (4) und nach den üblichen Aufbereitungen hat der Endausdruck folgende Form

$$\Delta C_1 = K_B K_3 E_u^{\alpha} D^{\epsilon} \left(\frac{c_2 N^{(1-A)} n^{\delta}}{\eta} + \frac{c_3 K_2 N^{(B-7A)}}{i \eta n^{(A-\sigma)}} + \frac{K_C n^{\delta}}{N^{\beta} i} \right) \quad \dots (9)$$

vereinfacht $\beta = \frac{a}{5}$; $\epsilon = a - 3$; $\delta = \frac{3a - 5}{5}$;

$$\Delta C_1 = K_B K_3 E_u^{\alpha} D^{\epsilon} (E' + A' + H') \quad \dots (10)$$

Auf ähnliche Art kann man auch bei Prozessen, die durch andere Beziehungen definiert sind, fortsetzen. Zum Beispiel beim weiter sehr verbreiteten Fall, in dem verlangt wird, dass durch das Rühren das

Schweben der festen, körnigen Phase in der Flüssigkeit erreicht wird. Als Ausgangsbeziehung nehmen wir die Gleichung Kolařs /2/ in der Form

$$\frac{nd}{V_0} = K_4 \left(\frac{V_0^2}{gd} \right)^{e_1} \left(\frac{d}{D} \right)^{e_2}$$

... (11)

an. Nach Aufbereitung erhalten wir

$$\Delta C_2 = K_D K_6 E u \tau D^\psi \left(\frac{c_2 n^x}{\eta} + \frac{c_3 K_2 n^{x-1}}{i \eta} \right) + \tau \frac{R+U+Z + \frac{c_4}{r_2}}{V \rho_i}$$

... (12)

vereinfacht

$$\Delta C_2 = K_D K_6 E u \tau D^\psi (E' + A') + \tau H'$$

... (13)

und ähnlich auch für weitere Operationen.

Im Weiteren werden wir uns zur Vereinfachung der Auslegung nur mit der Gleichung (10) befassen. Die Gleichung (13) ist bei dieser Gelegenheit bloß als Beispiel mit allgemeiner Bedeutung der Gleichung (4) angeführt. Ähnliche Feststellungen, die im Weiteren angeführt sind, könnte man auch für die Gleichung (13) machen.

In Gleichung (10), die für den abhängig veränderlichen Preiszuwachs des Erzeugnisses aufgestellt wurde, ist die erste unabhängig Veränderliche die Umdrehungen des Rührers und die zweite der Leistungsaufwand des Rührers. Die übrigen Symbole sind Konstanten, von denen nur das Eulerische Kriterium und die Konstante K_3 und die Effektivität nicht von den Umdrehungen allgemein abhängig sind. Für die praktische Anwendung dieser Gleichung ist es vorteilhaft diese Faktoren in ihrer weiter nicht ausgeführten Form zu behalten. Der Beweggrund dafür ist die Tatsache, dass weitere Arbeit mit der Gleichung für den Kostenzuwachs des Erzeugnisses für die praktische Verwendung viel zu kompliziert und umständlich wäre und es genügt sich bewusst zu werden, dass die Exponenten der Kriterien und der Ähnlichkeits-Simplexe in den Gleichungen für $E u$ und K_3 Zahlen nahe Null sind. Diese vereinfachendere Voraussetzung ist jedoch nur für Turbulenzbereiche annehmbar und für einen praktisch realen Bereich der Änderungen der unabhängigen Größen.

Die Beseitigung der eingeführten Ungenauigkeit ist beim numerischen Rechnen der Gleichung möglich, und zwar durch Einsetzung der richtigen Werte E_u und K_3 und η in Abhängigkeit von der Änderung der unabhängig Veränderlichen. Die Derivation der Gleichungen für den Preiszuwachs mit dem Ziel das Minimum der abhängigen Veränderlichen zu finden, würde unnötig sein, weil in diesem Fall der numerische Vorgang zugänglicher und anschaulicher ist.

Ergebnis der vorgelegten Theorie ist die Gewinnung einer Beziehung, in der durch das mathematische Produkt von K_3 und E_u die Effektivität des vorgeschlagenen Systems definiert ist, und durch die Glieder in Klammern die Bedeutung der Umdrehungen und des Leistungsaufwandes des Rührers im Hinblick auf die Energiekosten, die Investitionen und den Betrieb gegeben ist. Es ist bereits selbstverständlich, dass am ökonomischsten die Anordnung ist, bei der der Preiszuwachs minimal ist, d.h. ein minimales mathematisches Produkt von K_3 und E_u und eine minimale Summe der in Klammern angeführten Kosten.

Versuchs- und Messeinrichtung

Für Modellversuche, Messen der Drehmomente und der Wirkung des Rührens mit Umlaufrührern wurde eine im Weiteren beschriebene Versuchseinrichtung verwendet.

Bild 1 zeigt einen Einblick in die Versuchsstation. Die Rührwelle hat stufenlos veränderliche Umdrehungen im Bereich von 15 bis 1500 U./Min. Die Messungen werden mittels eines impulsiven Zählers und eines Stroboskopes durchgeführt. Die Behälter mit dem zum Rührer bestimmten Medium werden auf einen einstellbaren Ständer gestellt.

Zum Messen der Drehmomente für die Berechnung der Werte der Eulerschen Kriterien ist die Einrichtung mit einem Dynamometer versehen, der eine Kombination eines Differentials und einer Prony'schen Bremse darstellt.

Bild 2 stellt das Schema der Anordnung dar. Beim Differential wird die Reaktionswirkung des Drehmomentes des Rührers zum Messen der Kraft auf dem Umfang der Rolle des gegebenen Radiuses r_1 ausge-

nütst. Die eigentliche Kraft P_1 wird auf der Waage gemessen. Ähnlich ist es möglich, mit Hilfe einer zweiten Waage die Kraft P_2 zu bestimmen, die den Reibungsmoment der Bremse angibt.

Das eigentliche Messen der Drehmomente besteht aus der Ablesung der Angaben auf der Waage des Differential-Dynamometers, als Indikationswerte. Weiters folgt die Abstimmung der Rührerwelle an der Kupplung und Einstellung der Bremse auf einen solchen Drehmoment, bei dem die Waage des Dynamometers dieselbe Indikationsabweichung aufweist, wie beim Lauf des Rührers. Der Drehmoment wird aus den Angaben der Bremsenwaage berechnet, als das Äquivalent des Drehmomentes. Der Hauptvorteil dieser Anordnung ist die völlige Ausschliessung des Einflusses der passiven Verluste der Mechanismen.

Zum Messen homogenisierender Einflüsse ist eine Garnitur zur Verfügung, die schematisch in Bild 3 zu sehen ist. Im Prinzip handelt es sich um das Messen von Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit an zwei Stellen in der zu rührenden Flüssigkeit. In die Grundlösung NaCl wird während des Rührens eine kleine Menge einer 10%igen NaCl-Lösung zugegeben. Mit der erwähnten Garnitur, die mit einem Oscillographen vervollständigt ist, wird die zeitliche Abhängigkeit der Änderung der Leitfähigkeit und damit auch der Konzentrationen bestimmt.

In Bild 4 ist eine typische Aufzeichnung gezeigt, in der deutlich der Augenblick sichtbar ist, in dem der Fühler die Lösung mit vergrösserter Leitfähigkeit trifft - Punkt A und weiter der Augenblick, in dem sich die Leitfähigkeiten wieder ausgleichen - Punkt B. Zur Zeitbestimmung ist im unteren Teil ein Zeitschreiber.

Als Flüssigkeit für die Versuche und das Messen wurde Wasser oder Stärkesyrup mit verschiedenen Konzentrationen von Wasser verwendet. Die Viskosität wurde mit einem Höplerschen Viskosimeter gemessen.

M e s s e r g e b n i s s e

Für die praktische Anwendung der abgeleiteten Gleichungen ist es notwendig, die zugehörigen Konstanten und Exponenten zu kennen. Zu deren Bestimmung wurde die vorher beschriebene Versuchseinrichtung verwendet.

Es wurde ein Entwurf für einen Standard von Rührwerken ausgearbeitet, in dem einige Typen und Rührerausführungen standardisiert sind.

In Bild 5 ist deren Veranschaulichung. Das Messen von Drehmomenten zur Bestimmung der Werte der Eulerschen Kriterien und homogenisierenden Wirkung (Bestimmung von K_3) ist auf die angeführten Rührer und deren allgemeinste Anordnung abgestimmt.

Im weiteren Bild 6 ist ein Diagramm der Kennziffern des Leistungsbedarfes, das sind Abhängigkeiten von $Eu = f(Re)$ in logarithmischen Geraden für vier schnelllaufende Rührer im Bereich von realen Reynoldsen Zahlen dieser Rührer. Bedingung für die Gültigkeit ist das Einhalten der geometrischen Ähnlichkeit des Apparates mit dem Modell, und die Ausschliessung eines zentralen Wirbels.

In Bild 7 ist ein ähnliches Diagramm. In das Messen ist der Turbulenzbereich bei zweiseitigem Verhältnis D/d (Gefässdurchmesser zum Rührerdurchmesser) einbezogen. Es ist notwendig auf die grosse Vergrösserung mit dem Massstab der Geraden für Eu aufmerksam zu machen. Der gestrichelte Verlauf der Abhängigkeiten kann durch die Durchlüftung der gerührten Flüssigkeit bei hohen Intensitäten des Rührers erklärt werden.

Ziel des Messens von Drehmomenten war die Bestimmung der Werte der Eulerschen Kriterien zum Entwerfen der Parameter von Rührwerken und zur Festlegung des Leistungsaufwandes des Rührers für die Dimensionierung des Antriebes der Einrichtung. Eine weitere Analyse der experimentell gewonnenen Abhängigkeiten, würde den Rahmen und die Einstellung dieses Referates überschreiten. Die Ergebnisse des Messens werden eingehend in tschechoslowakischen Fachzeitschriften veröffentlicht, und das einschliesslich der tabelaren Werte, der Auswertung, der näheren Bedingungen der Gültigkeit, der Art von Bestimmungen und der Schlussfolgerungen.

Für die Bestimmung der Eulerschen Kriterien beim Rühren ohne Staubleche, wobei nach theoretischen Vorstellungen in dem zylindrischen Behälter ein Wirbelkern entsteht mit endlichem Querschnitt und kreisförmiger potentioneller Bewegung, wurde eine theoretische Analyse der Kräfteverhältnisse am Rührerblatt durchgeführt. Auf dieser

Grundlage wurde dann eine allgemeine Gleichung für die Leistungsaufnahme des Rührers abgeleitet, in der Form von

$$N = E v \rho n^3 d^5 \quad \dots (14)$$

in welcher $E v$ ausgedrückt ist als

$$E v = K \xi (J_1 + J_2) \quad \dots (15)$$

und aus der die Werte J_1 und J_2 aus der Abhängigkeit der Umfangsgeschwindigkeit der Flüssigkeit auf den Radius des Behälters bestimmt werden können. Die Beschwerlichkeit und zeitliche Beanspruchung dieser Messungen hat vorläufig die bisherigen Experimente auf die bloße Beglaubigung der Vorstellungen beschränkt. Die eigentliche Theorie ist bereits veröffentlicht worden /4/. Nach völliger Vervollständigung des experimentellen Teiles werden die Ergebnisse allgemeiner publiziert.

Die Bestimmung des Wertes der Konstante K_3 aus der Gleichung für die Homogenisationszeit (5) ist vorläufig individuell. Zum Messen dient eine Garnitur elektrischer Leitfähigkeit nach dem vorher Erwähnten. Bei einer gewählten Unhomogenität von 5% der gesamten Änderung der Konzentration (berechnet nach der von Landau-Procházka angeführten Methode /5/) bei $Re = 10^5$, sind die Werte K_3 folgende:

Turbine No.10	$K_3 = 4,16$
Turbine No.15	$K_3 = 5,47$

Mit der Bestimmung der Grössen des Exponenten a der Gleichung (5) befasste sich Procházka /6/. Sie ist abhängig von der Type des Rührers. Für weitere Berechnungen nehmen wir

$$a = 2$$

als durchschnittlichen, abgerundeten Wert. Bei anspruchsvolleren Berechnungen ist es notwendig den Exponenten experimentell zu bestimmen.

Nach Ergänzung nach dem Exponenten a wird die Gleichung für den Preiszuwachs des Erzeugnisses aus dem Rührwerk folgende Form haben:

$$\Delta C = K_B K_3 E v^{\frac{2}{5}} \frac{1}{D} (E' + A' + H) \quad \dots (16)$$

$$E' = \frac{c_2 N^{\frac{1}{2}} n^{\frac{1}{2}}}{\eta} \quad \dots (17)$$

$$A' = \frac{c_3 K_2 N^{b-\frac{2}{3}}}{i \eta n^{b-\frac{1}{3}}} \quad \dots (18)$$

$$H' = \frac{K_c n^{\frac{1}{3}}}{i N^{\frac{1}{3}}} \quad \dots (19)$$

$$K_c = R + U + Z + \frac{c_4}{12} \quad \dots (20)$$

Die übrigen Konstanten sind durch Konstruktionsmotive und Herstellungs- und Betriebskosten gegeben.

D i s k u s s i o n

Die Beziehung zwischen dem Preiszuwachs des Rührens und den Grundparametern des Rührwerkes mit Umlaufrührern, bestimmt für das homogenisierende Rühren die Gleichung (10). In vervollständigter Form, in der der Exponent $\alpha = 2$ ist, die Gleichung (16). Die Bestimmung der Werte der Konstanten wurde im Vorhergehenden besprochen. An einem konkreten Beispiel führen wir uns nun die Bedeutung der theoretischen und experimentellen Ergebnisse vor.

In dem Entwurf des Standards für Rührwerke ist im Teil der kompletten Einrichtungen eine Anordnung angeführt, die aus einem zylindrischen Behälter mit Staublechen und einem zentrisch angebrachten Turbinenrührer besteht - No.10 und das nach früheren Besichtigungen. Als Beispiel sei ein Rührwerk gewählt mit standardisiertem Behälterdurchmesser von $\phi = 1600$ und einer spezifischen Leistungsaufnahme auf eine Einheit des Volumens von 45 kgw/sec.m^3 . Dem entsprechen die folgenden Angaben des Standards: Volumen der Flüssigkeit $V=3,06\text{m}^3$, Umdrehungen des Rührers $n=180 \text{ U/Min.}$, Rührerdurchmesser $d=400$, Leistungsaufnahme des Rührers $N=1,36\text{kW}$, Leistung des

Elektromotors $N_e = 2,2 \text{ kW}$.

Die Konstante und der Exponent der exponentiellen Abhängigkeit des Gewichtes des Antriebes und des Drehmomentes der Rührerwelle wurden nach den Angaben über Getriebekasten bestimmt. Es wurde festgestellt, dass der Exponent b einen Wert von

$$b = \frac{1}{3}$$

hat. Die übrigen Konstanten wurden für die geläufigsten Fälle nach der Wirklichkeit oder der Erfahrung bestimmt.

In den folgenden weiteren zwei Bildern sind die Diagramme der Abhängigkeiten nach der allgemeinen Gleichung angeführt, die in ihrer endlichen Anordnung folgende Form nach (16) + (20) hat

$$A' = \frac{c_3 K_2}{10 N^{\frac{1}{3}} n^{\frac{2}{3}}}$$

... (21)

Im Diagramm nach Bild 8 sind die Werte der Glieder E' , A' , H' und deren Summen in Abhängigkeit von den Umdrehungen des Rührers bei einer konstanten Leistungsaufnahme eingezeichnet,

Bei Erhöhung der Umdrehungen (d.i. bei Verkleinerung des Rührerdurchmessers) ist nach der Kurve E' der flache Verlauf des Energieanstieges deutlich zu sehen. Die Kurve A' , die die Kosten der Amortisierung der Investitionen ausdrückt, hat im Gegenteil eine sinkende Tendenz. Steiler ist die Abhängigkeit nach der Kurve H' , die angibt, dass bei Erhöhung der Umdrehungen sich auch die Regie-, Erhaltungs- und Reparaturkosten erhöhen. Die voll eingezeichnete Kurve gibt die Abhängigkeit der Summe der Kosten an der Energie, Amortisierung, Regie u.a. an. In dem Bereich von sehr niedrigen Umdrehungen des Rührers, in dem Fall, in dem der Rührerdurchmesser sich dem Behälterdurchmesser nähert, ist die Kurve steiler, als bei einer grösseren Umdrehungszahl. Das Minimum der Kurve liegt im Abschnitt der niedrigeren Umdrehungen.

Die angeführten Erkenntnisse sind sehr interessant. Sie sind allerdings nicht allgemein, da die konkrete Änderung der Konstanten des Energie-, Regie- u.a. -Preises den Verlauf ändern kann. Re-

latives Erhöhen der Herstellungskosten (Druckbehälter, nichtrostender Stahl u.ä.) kann einen völlig verkehrten Verlauf bedingen. Deshalb ist es nicht möglich, bloß nach der Grösse von Exponenten allgemeiner Gleichungen zu bestimmen, ob im Allgemeinen besser niedrige oder höhere Umdrehungen des Rührers und damit auch die Vorteilhaftigkeit der Schneekührer mit kleinen Durchmesser oder aber der langsamen Rührer mit grossen Durchmesser besser sind. Wie die eigentliche Theorie, so auch der angeführte Fall sind ein Beweis dafür, dass es immer notwendig ist, alle Umstände zu erwägen und individuell zu entschliessen.

In Bild 9 ist eine ähnliche Abhängigkeit, wie bereits vorher erwähnt, nur mit dem Unterschied, dass anstatt von Umdrehungen die Leistungsaufnahme des Rührers die Veränderliche ist. So wie das Diagramm in Bild 8 als Unterlage zur Bestimmung der geeignetsten Umdrehungen des Rührers diente, kann man nach dem Diagramm in Bild 9 die optimale Grösse der Leistungsaufnahme des Rührers bestimmen. Gestrichelt sind die Verläufe der Kosten für Energie, Amortisierung der Investitionen, der Regie usw. eingezeichnet. Die Erklärung ist die gleiche, wie im vorhergehenden Diagramm. Bei der resultierenden Abhängigkeit ist der optimale Wert der Leistungsaufnahme des Rührers an den Stellen, an denen die Kurve das Minimum erreicht hat. Zusammenfassend, die Bestimmung der Umdrehungen und des Rührerdurchmessers ist nach dem Standard für den angeführten Gebrauch ökonomisch.

Ein weiterer Umstand des Entwurfes der Parameter ist die Bestimmung der Rührertypen. Für die Turbine No.10 nach dem Standardentwurf ist nach Messung das mathematische Produkt

$$K_3 Eu^{\frac{2}{5}} = 7,68$$

Für die Turbine No.15 (Bezeichnung nach Bild 5) ist das mathematische Produkt

$$K_3 Eu^{\frac{2}{5}} = 8,55$$

Die Turbine No.10 scheint für die angeführten Ansprüche und bei den gegebenen Voraussetzungen um cca 10% vorteilhafter zu sein.

Weiteres Rechnen der allgemeinen Gleichung hat für den angeführten Zweck keinen Sinn. Es handelt sich nicht um die Feststellung des wirklichen Kostenzuwachses. Ziel der optimalen Bestimmung der Grundparameter der Rührwerke ist, einen minimalen Kostenzuwachs zu erreichen.

Schlusfolgerung

Bei der technischen Spezifikation des Rührwerkes ist es notwendig neben den Gesichtspunkten der Funktion auch die ökonomischen Gesichtspunkte in Betracht zu ziehen. Die Kenntnis der mathematischen Beziehungen für die Intensität des Prozesses in Abhängigkeit von den Umdrehungen und dem Durchmesser des Rührers allein genügt nicht zum Bestimmen eines geeigneten Rührwerkes.

Mit der im Referat angeführten Art und dem Verfahren ist es möglich, in praktischen Fällen die optimalen Parameter der Rührwerke mit Rotationsrührern zu bestimmen. Bedingung ist die Kenntnis des Rührzweckes und der Wert der zuständigen Konstanten der Berechnungsbeziehungen.

Literatur

- /1/ S.Ja. Gzovskij: *Chimičeskoje mašinostrojenije* 6, 13 (1959)
- /2/ V. Kolář: *Collection* 26, 613 (1961)
- /3/ H. Kramers, G.M. Baars, W.H. Knoll: *Chem.Eng.Sci.* 2, 35 (1953)
- /4/ J. Kvasnička: *KSB* 61-II, 3 (1961)
- /5/ J. Landau, J. Procházka: *Chem.listy* 52,1989 (1958)
- /6/ J. Procházka: *Kandidats-Dissertationsarbeit. Technische Hochschule für chem.Technologie, Praha* 1959
- /7/ J.H.Rushton: *Chem.Eng.Progr.* 46, 395 (1950)
- /8/ J.H.Rushton: *Chem.Eng.Progr.* 50, 587 (1954)

S y m b o l e - V e r z e i c h n i s

A	Amortisierung der Investitionen (Kčs/Jahr)
A', A''	Amortisierung der Investitionen - nach Gleichung (10), (13)
C	Erzeugnispreis (Kčs/kg)
ΔC	Kostenzuwachs des Erzeugnisses (Kčs/kg)
D	Innendurchmesser des Behälters (m)
E	Energiekosten (Kčs/Jahr)
E', E''	Energiekosten - nach Gleichung (10) und (13)
H', H''	Regiekosten, Erhaltungs- und Reparaturkosten nach Gleichung (10) und (13)
J ₁ , J ₂	Ausdrücke der Gleichung (15)
K	Konstante der Gleichung (15)
K ₂	Konstante der Gleichung (3)
K ₃	Konstante der Gleichung (5)
K ₄	Konstante der Gleichung (11)
K ₆	Konstante der Gleichung (13)
K _B	Konstante der Gleichung (10)
K _C	Ausdruck nach Gleichung (20)
K _D	Konstante der Gleichung (13)
M	Jahres-Durchschnittskosten pro Angestellten (Kčs/Jahr)
M _h	Stündliche Durchschnittskosten für einen Arbeitslohn (Kčs/h)
N	Leistungsaufnahme des Rührers (kgm/sec)
Q	Wert der Bruttoerzeugung (Kčs/Jahr)
R	Regiekosten (Kčs/Jahr)
S	Rohstoffkosten (Kčs/Jahr)
U	Erhaltungs- und Reparaturkosten (Kčs/Jahr)
V	Volumen der gerührten Flüssigkeit (m ³)
Z	Akkumulation der Erzeugung (Kčs/Jahr)
Eu	Eulersches Kriterium für das Rühren
Re	Reynoldsches Kriterium für das Rühren
a	Exponent der Gleichung (5)
b	Exponent der Gleichung (3)
c ₁	Rohstoffpreis (Kčs/kg des Erzeugnisses)
c ₂	Kosten für elektrische Energie (Kčs sec / kgm h)
c ₃	Kosten eines Kilogramms des Rührwerkes (Kčs/kg)
c ₄	Kosten der Einrichtung, die nicht von den Parametern des Rührers abhängig ist (Kčs)

d Rührerdurchmesser (m)
 e_{1,2} Exponent nach Gleichung (11)
 g Konstante der Gravitation (m/sec²)
 i Summe der Betriebsstunden pro Jahr (h/Jahr)
 m Anzahl der Arbeiter
 n Umdrehungen des Rührers (1/sec), (1/min)
 p Arbeitsproduktivität des Reaktors (kg/Jahr)
 r₁ Amortisationszeit des Rührwerkes (Jahr)
 r₂ Amortisationszeit des Zubehörs (Jahr)
 v₀ Fallgeschwindigkeit (m/sec)
 x Relative Abweichung der Konzentration

β Exponent der Gleichung (8)
 γ Massgewicht (kg/m³)
 δ Exponent der Gleichung (8)
 ε Exponent der Gleichung (9)
 ζ Effektivität des Antriebes
 κ Exponent der Gleichung (12)
 λ Exponent der Gleichung (8)
 ξ Koeffizient des Widerstandes nach Gleichung (15)
 ρ Masseinheit der Masse
 τ Dauer des Prozesses (h)
 τ_M Manipulationsdauer (h)
 ν Exponent der Gleichung (13)

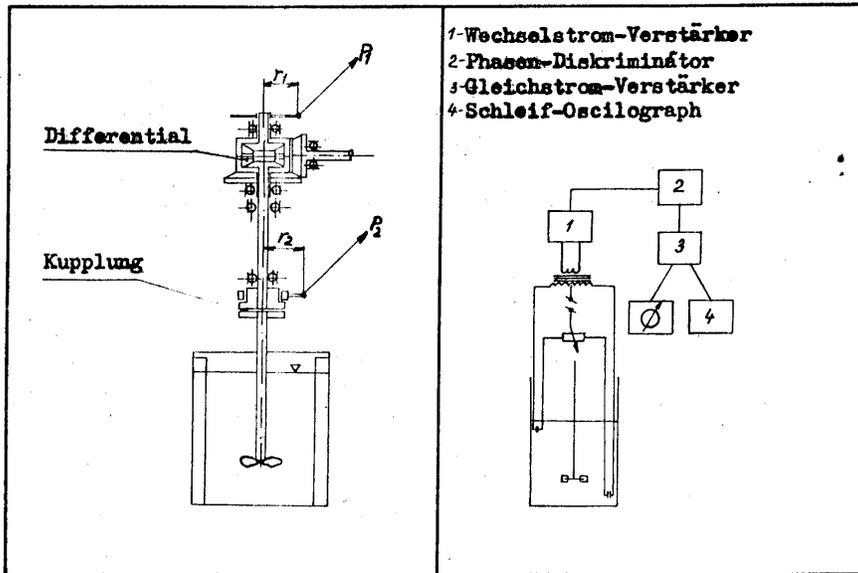


Bild 2

Bild 3

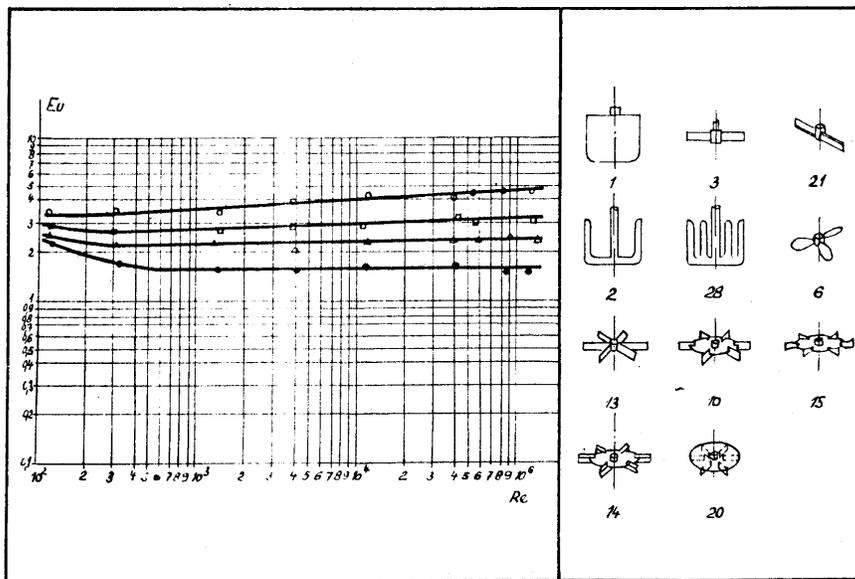


Bild 6

Bild 5

**ÜBER DIE HEIZÖLVERBRENNUNG UND WIRTSCHAFTLICHE ANWENDUNG
VON ÖLFEUERUNGEN FÜR DAMPKESSEL UND INDUSTRIE.**

Fr. Šilhan

**Forschungsinstitut der Královopolská strojírna
Brno, TSCHECHOSLOVAKIE.**

V o r w o r t .

Auf dem Gebiete der Heizölanwendung ist noch sehr viel Arbeit zu leisten. Während die Schwesterrwissenschaft die Gasveruerung oder sogar die Kohlen-feuerung, über ein recht umfangreiches Schriftum verfügt, ist die Fachliteratur auf dem Gebiete der Ölfeuerung, auch im internationaler Massstab gesehen, als noch durchaus ungenügend zu bezeichnen. Diese Sachlage ist durch geschichtliche Entwicklung dieses Zweiges der Technik bedingt. Das Erdöl als solches ist schon über hundert Jahre bekannt. Die industrielle Heizölanwendung im grossen Massstabe aber ist nicht viel älter als zwanzig Jahre. Auf dem Gebiete der Energieanwendung, vor allem auch der Ölanwendung, wird daher noch manche Forschungsarbeit durchzuführen sein.

Wenn man sich ins Gedächtnis zurückruft, dass rund zwei Drittel der gesamten Energie zur Wärmezeugung und ein Drittel zur Erzeugung mechanischer und elektrischer Energie verwendet werden, und wenn man sich die Tatsache vor Augen hält, dass die meisten Industrieöfen in Chemie und verwandten Gebiete der Industrie noch mit recht primitiven Feuerungsanlagen ausgestattet sind, dann wird

man es verstehen, dass sich der Verfasser diesem Thema zugewendet hat.

A l l g e m e i n .

Die Ausnutzung der auf der Erde zur Verfügung stehenden Erdölquellen ist von nicht wegzudenkendem Einfluss auf die technische und wirtschaftliche Entwicklung geworden. Das Erdöl nimmt unter Allen Rohstoffen der Welt die weit wichtigste Stellung ein. Erdöl ist die Grundlage jeder Industrie und der bedeutendste Energierohstoff. Es wurde absichtlich Rohstoff gesagt, denn es muss endlich in alle Kreise die Einsicht getragen werden, dass das Erdöl kein Brennstoff, sondern ein Rohstoff ist.

Wie bekannt, ist der Verbrauch an Heizölen als Energieträger, in der ganzen Welt sehr stark angestiegen. Zur information: die Erdölförderung der gesamten Erde betrug im Jahre 1961 etwa 1,120 Mrd t.

Mineralisches Heizöl, ist ein dickflüssiges Rückstandsprodukt, dass aus der Verarbeitung des Erdöls anfällt. Seine physikalischen und chemischen Eigenschaften sind von der Provenienz des Rohöles und von dem Verarbeitungsprozess, aus dem es anfällt, abhängig.

Das Heizöl hat sich seinen Markt auf der ganzen Welt erobert.

Frage, worauf ist das zurückzuführen, kann ganz allgemein beantwortet werden. Das Heizöl aus Erdöl setzte sich überall dort durch, wo es nicht nur wirtschaftliche sondern auch technische Vorteile gegenüber den anderen Energieträgern bietet. Die Verwendung von Heizöl als Brennstoff für alle industrielle Feuerungsanlagen ist ständig im Wachsen begriffen. Bedenkt man, dass sich Heizöl auf Grund seiner spezifischen Eigenschaften als Brennstoff besondere gut eignet, so liegt ohne weiteres auf der Hand, dass das Heizöl immer mehr am Boden gewann.

E i g e n s c h a f t e n d e s H e i z ö l e s .

Als Hauptbestandteile enthalten die Heizöle die brenn technischen wichtigen Kohlenwasserstoffe, das heisst Verbindungen aus Kohlenstoff- und Wasserstoffmolekülen. Das Mengenverhältnis, in dem diese Kohlenwasserstoffverbindungen den Verbrennungsvorgang bestimmenden Elemente im Heizöl vorhanden sind, hängt stark von der Art des Ausgangsproduktes und seiner Aufbereitung ab. Bei der Verbrennung verbinden sich Kohlenstoff und Wasserstoff mit dem Luftsauerstoff. Im Heizöl enthaltenen Begleitstoffe haben eine gewisse Rückwirkung auf die Güte der Verbrennung. Deshalb müssen die Einsatzmöglichkeiten für Heizöl von Fall entschieden werden. Bestimmend ist hierfür vorwiegend der Heizwert, die Visko-

sität, der Schwefelgehalt und die Aschozusammensetzung. Der Schwefelgehalt kann den Verwendungsbereich massgeblich begrenzen, da verschiedene Fabrikationsvorgänge nur einen begrenzten Schwefelgehalt in den Verbrennungsgasen zulassen.

Wenn sich die Heizöle so überraschend in der ganzen Welt durchsetzen konnten, so müssen sie gewiss einige technische und wirtschaftliche Vorteile bieten. Welches sind nun die Vorteile?

Von den sonstigen für die Ölfeuerungstechnik praktisch wichtigsten Eigenschaften ist vor allem der hohe Heizwert zu nennen. Bei einem Preisvergleich mit Kohle, müssen wir allerdings auch einen vielfach höheren Preis je Tonne bezahlen. Entscheidend ist aber nicht der Preis je Tonne, sondern der Wärmepreis je Kcal.

Dieser Anschaffungspreis für die Kcal ist nicht allein entscheidend. Es ist weiter zu erwähnen, dass bei Ölfeuerung im allgemeinen, die Entaschungs- und Entstaubungsanlagen wegfallen. Ein weiterer Vorteil der Heizöle ist, dass zur vollständigen Verbrennung einen geringeren Luftüberschuss als Kohle erfordern und somit wird der Verbrennungswirkungsgrad höher. Es werden auch Arbeitskräfte eingespart durch leichtere Transportmöglichkeiten. Die Transporteinrichtungen sind billiger als für die Kohle.

Es ist also festzustellen, dass Ölfeuerungen, die auf volle Nutzung der Eigenarten des Heizöles konstruiert sind, grosse Vorteile bieten können und zwar hinsichtlich des Wirkungsgrades, der Betriebskosten, der Kapazitätsausnutzung und nicht zuletzt der Investkosten.

B r e n n e r w a h l .

Wie allgemein bekannt ist, steht der Brenner meistens im Mittelpunkt der Betrachtungen über Ölfeuerungsanlagen. Daraus entsteht sehr oft der Eindruck, dass sein Preis sei ausschlaggebend für die Gesamtkosten der Ölfeuerungsanlagen. Im Rahmen des Gesamtobjektes dürfte bei grösseren Ölfeuerungsanlagen der Preis des Brenners aber keine entscheidende Rolle spielen. Deshalb sollte am Ölbreuner niemals gespart werden, wenn bessere Brennstoffausnutzung erreicht werden kann.

Allgemein ist der technische Verbrennungsvorgang eine Verquickung von chemischen und physikalischen Vorgängen. Die chemischen Vorgänge bei der eigentlichen Oxydation verlaufen ausserordentlich schnell.

Diese chemische Vorgänge erfordern aber vorher eine sehr sorgfältige und langwierige physikalische Vorbereitung. Will man also den gesamten Verbrennungsvorgang recht beschleunigen, so muss man bei den letzteren anfangen.

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit der Ölfuehrung ist deshalb die sorgfältige Durchbildung der Ölbrenner, da diese erst die gründliche Ausnutzung der vorteilhaften feuerungstechnischen Eigenschaften des Heizöles gewährleisten.

Die Verbrennung von Heizölen geht bekanntlich so vor sich, dass die Flüssigkeit zuerst verdampft und erst dann der Dampf nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie bei Gasen verbrennt. Wird flüssiges Heizöl verbrannt, so verbrennt der entwickelte Öldampf an der Oberfläche nur so schnell, wie er sich mit dem zuströmenden Luftsauerstoff verbinden kann. In Ölfuehrungen muss jedoch eine schnelle Verdampfung des Heizöles und intensive Mischung des Öldampfes mit Luft angestrebt werden. Die schnelle Verdampfung wird durch Zerstäubung des Heizöles herbeigeführt. Es bestehen gewisse Verwandtschaften zwischen Gas- und Ölfammen. Ein Brenngas ist insofern verbrennungsreif, als er mit Verbrennungsluft ein Gemisch bildet. Heizöl muss erst in die Form gebracht werden, in der er sich mit Verbrennungsluft vermischen lässt, - er muss zuerst zerstäubt, verdampft oder vergast werden.

Dies alles geschieht nebeneinander übergehenden Vorgänge unterscheiden:

- a) Zerstäubung,
- b) Verdampfung,
- c) Mischung und
- d) eigene Verbrennung

Die weitaus meisten Ölbrenner sind in mechanischer Hinsicht Ölzerstäuber und Mischer für Ölstaub und Luft. Die Zerstäubung des Heizöles, erfordert den Aufwand von Energie. Der spezifische Energieverbrauch der Zerstäubung für kg Heizöl kann sehr verschieden sein. Bei der Zerstäubung spielt eine wichtige Rolle der spezifische Gewicht, Zähigkeit und die Oberflächenspannung des Heizöles.

Von ausschlaggebender Bedeutung für den Betrieb und Wirtschaftlichkeit der Ölfuehrung ist deshalb nur die sorgfältige Durchbildung der Brenner. Ein gutes Brenner muss das Heizöl zuerst fein zerstäuben und

es innig mit der Verbrennungsluft mischen, so dass Öl-Luftgemisch leicht entzündet werden kann und verbrennen.

Die Bezeichnung "Ölbrenner" wird für eine aus zwei Hauptteilen zusammengebaute Einheit allgemein gebracht.

Die beiden Hauptteile sind:

Der eigene Ölzerstäuber und
das Luftregister.

Der Ölzerstäuber hat die Aufgabe, das Öl in möglichst kleine, gleichförmige Teilchen zu zerstäuben während das Luftregister für die Regelung und zweckmäßige Führung der Verbrennungsluft in dem Feuerraum zur Erreichung bester Luftdurchmischung dient. Alle Ölzerstäuber sind immer zentral in Luftregister angeordnet.

Die Vorbedingung für eine gute Verbrennung ist die intensive Vermischung zwischen den Brennstoffpartikeln und Verbrennungsluft. Die Zerstäubungsfeinheit als wesentlicher Faktor für die Verbrennung hängt nur vom Zerstäubungsdruck und der Viskosität des Öles ab. Es hatte sich aber hierbei gezeigt, dass bei Druckzerstäubern viel mehr wirtschaftlicher ist, die Wärme für die Senkung der Viskosität aufzubringen als durch Drucksteigerung eine feine Zerstäubung zu viskosen Medien erzwingen zu wollen.

Die grundlegende Aufgabe der Feinverteilung des Heizöles kann durch

Verdampfung oder

Zerstäubung

gelöst werden.

Nach diesen Gesichtspunkten ist es folglich, die Einteilung der Ölbrenner wie folgt vorzunehmen.

1. Verdampferbrenner oder Ölbrenner ohne mechanischen Kraftaufwand mit Untergang, an
 - a/ Tropfbrenner
 - b/ Verdampferbrenner /mit Verengung in einem besonderen Verdampfer/.
2. Anmeisten sind Zerstäuberbrenner vorbereitet, bei denen man
 - a/ Druckzerstäuber,
 - b/ Injektionszerstäuber und
 - c/ Rotationszerstäuber

unterscheidet.

Der Bedarf an Ölbrennern in Industrie, Heimgewirtschaft und Gewerbe ist sehr gross und verschiedenartig in der Verwendung. Ob es sich um Heizöl, chemische Industrie oder um die Hochtemperaturprozesse der Stahl-, Zement- und Glasindustrie handelt, für jeden Bedarfsfall sind immer andere Voraussetzungen für störungsfreien

und wirtschaftlichen Einbau der erforderlichen Ölbrenner gegeben. Es muss grundsätzlich noch darauf hingewiesen werden, dass es für die vielfältigen Feuerungsprobleme der Industrie- und Energiewirtschaft keinen Einheitsbrenner gibt.

Leider ist es unmöglich, in der kurzen verfügbaren Zeit darüber zu diskutieren, welchem Brennersystem man den Vorzug geben soll. Ob Druckerstäuber, Dampf- oder Luftzerstäuber, ob Vergasungsbrenner oder Rotationsbrenner oder welchem System auch immer der Vorzug zu geben sei, das soll hier nicht zur Debatte stehen. Man muss behaupten, jedes System hat seine Vor- und Nachteile. Was sich für den einen Bedarfsfall geeignet hat, braucht dazu nicht auch für einen anderen Fall gut zu sein. Es soll weiter nur an einigen bemerkenswerten und interessante Beispielen aufgezeigt werden.

Allgemeines über Ölbrenner.

Die Einwandfreie rauch- und ruffreie Verbrennung eines Heizöls ist nur dann möglich, wenn das Heizöl vor der Verbrennung vorgast oder zerstäubt wird.

Das Vergasungsprinzip findet nur bei Ölbrennern mit kleinen Durchsatzleistungen und bei der Zerstäubung von Leichtölen statt.

Bei der Öldruckzerstäubung wird das Öl durch eine Druckpumpe auf einen Druck von 10 - 35 atü gebracht und dann durch enge Düsen gepresst und zerstäubt.

Bei der Dämpferzerstäubung erfolgt die Zerstäubung durch Dampf, bei der Druckluftzerstäubung durch Pressluft. Der Dampfdruck und Pressluftdruck beträgt etwa 4 - 10 atü.

Bei der Niederdruckluftzerstäubung erfolgt die Zerstäubung durch Ventilatorluft mit einer Pressung von 400-1000 mm WS.

Die Rotationszerstäubung ist eine mechanische Zerstäubung, bei der das Heizöl über einer schnelllaufenden Trichter geführt und durch Zentrifugalkraft fortgeschleudert und so zerstäubt wird.

Die neuzeitlichen Ölbrenner können heute durch gute Zerstäubung und hohe Luftgeschwindigkeiten mit nur 5 o/o Luftüberschuss gefahren werden, während früher /leider sehr hoch heute-, häufig schlechte Zerstäubung des Heizöls und hohe Luftüberschüsse durch Vermeidung von hohen Druckabfällen im Luftregulator beobachtet wurden. Eine Steigerung des Druckabfalls im Luftregulator bei Höchstlast von maximal 80 mm WS

auf 200 - 250 mm WS brachte erhebliche Verbesserungen der Verbrennung von Heizöl. Es werden schon Druckabfälle von über 500 mm WS angewandt.

Einen Ölbrenne möglichst allen vorkommenden Feuerungs-Bedingungen anzupassen, versucht man dadurch gerecht zu werden, dass man Brenner schafft, die wahlweise als kombinierte Druck- oder Dampferstäuber Verwendung finden. Manchmal wird verlangt möglichst in einem Brenner verschiedene Ölarten verbrennen können, oder will man einen Brenner haben, dessen Flamme man leicht verändern kann. Dieser letzten Forderung kommt man dadurch nach, dass man in einem Brennergehäuse eine primäre und sekundäre Verbrennungsluftzuführung hat, die aber voreinander reguliert werden können. Mit dieser Regelung kann man die Flammenform sehr gut den jeweiligen Verbrennungsraum anpassen und zwar durch eine Verstelleinrichtung kann die Flamme breit aber kurz oder schmal und lang eingestellt werden.

Der Ölbrenner hat nicht allein die Aufgabe, das Öl zu Zerstäuben, sondern auch die Flamme die geforderte Form und Länge zu geben. Es fällt oft nicht leicht, unter der Vielzahl der angebotenen Brenner den geeignete zu finden. Patentrechtliche Gesichtspunkte erschweren es, alle Bedingungen und zugehörige Konstruktionsmerkmale für gute Verbrennung an einigen wenigen Brennern zu vereinen.

Ein Mass für die Güte der Zerstäubung ist die Tropfengrösse. Nach wissenschaftlichen Untersuchungen werden folgende Tropfengrößen erreicht.

Bei der Öldruckzerstäubung	15	-	60	My
Dampferstäubung	25	-	35	My
Druckluftzerstäubung	20	-	30	My
Niederdruckluftzerstäubung	80	-	120	My und bei
Rotationszerstäubung	100	-	120	My

Ist die Tropfengrösse über caa 50 My, so muss für eine einwandfreie Verbrennung eine ausgemauerte Brennkammer vorgesehen werden, damit die grösseren Tröpfchen durch Strahlung des heissen Mauerwertes zusätzlich vergast werden. Ölbrenner mit einer Zerstäubungsfeinheit unter 50 My können als freibrennende Aggregate ohne Brennkammer verwendet werden.

Es ist sehr schwierig, Zerstäuberbrenner zu entwickeln, die über einen breiten Regelbereich des Öldurchsatzes eine konstante Verbrennungsgüte aufweisen.

Die Regelung der Ölmenge erfolgt bei den Druckölzerstäuber bis zu einem Regelbereich von 1:2 durch Veränderung des Öldruckes.

Bei den Ölbrennern mit Pressluft -, Dampf -, oder Niederdruckluftzerstäubung ist der Regelbereich wesentlich grösser und zwar 1:3 bis 1:4. Bei der Rotationszerstäubung sogar 1:8.

Druckölbrennern mit Ölrücklauf ist der Regelbereich manchmal 1:5 bis 1:8.

Die Regelung des Verbrennungsluftstromes ist durch Drosselung auch ohne weiteres möglich. Gewisse Probleme stellt jedoch auch heute noch die Konstanz der Vermischung, besonders, wenn eine Sicherstellung des richtigen Öl-Verbrennungsluft Verhältniss gefordert ist. Grundsätzlich ist für einen Ölbrenner immer die richtige Zusammenstellung von Ölzerstäuber und Luftregister zu fordern.

Der Einsatz von Heizöl in der Industrie.

Bei den meisten Dampferzeugern handelt es sich um solche, die von Kohle auf Heizöl umgestellt werden. Eine solche Umstellung bringt im allgemeinen eine Wirkungsgradsteigerung um 5-10%. Bei der Umstellung auf Heizölföuerung muss beobachtet werden, ob der Dampfkessel im Dauerbetrieb gefahren wird oder ob mit Lastschwankungen zu rechnen ist. Besondere Aufmerksamkeit muss der Ausmauerung des Feuerraums geschenkt werden. Durch die Strahlung der Ölflamme entstehende grosse Wärmeabgabe im Feuerraum und damit erhöhte Verdampfung führt zu einer Verringerung der Überhitzungstemperatur um 20-30°C. Es empfiehlt sich deshalb bei der Rekonstruktion, etwa 10% der Heizfläche im Bereich des Feuerraums durch Ausmauerung abzuschirmen.

Vom praktischen Wert für Dampfkessel sind heute nur die Druckzerstäubungsbrenner, bei denen mechanische Arbeit aufgewendet werden muss, um das Brennstoff fein zu zerstäuben.

Die Ölfeuerung für Zementdrehöfen hat eindeutig gezeigt, dass diese Feuerung nicht nur vollwertig neben der Beheizung mit anderen Brennstoffen bestehen können, sondern darüber hinaus noch zusätzliche Vorteile mit sich bringen.

Rücklauf - Druckölzerstäuber sind wegen ihrer vorzüglichen Zerstäubungsarbeit besonders dazu geeignet, im Zusammenwirken mit

der regelbaren Primärluft die Flammenform den jeweiligen Erfordernissen anzupassen. Dabei liegt der bezogene Primärluftanteil bei 10-15 % und der Vordruck 300 - 500 mm WS.

Die Benützung des Heizöles in der keramischen Industrie ist in der letzten Zeit im Auslande sehr gewachsen. Durch die Weiterentwicklung der Öfen und sogleich Ölbrenner haben sich wesentliche Vorteile durch die Ölfeuerung herausgeschält, so dass mit einer weiteren Einführung zu rechnen ist. Bei der keramischen Industrie überwiegen Luftzerstäuberbrenner.

Interessante Entwicklungen entstanden in der Feuerung von Ziegelöfen durch die automatischen Impulsfeuerungen. Bei dieser Feuerung wird das Öl unter vernachlässigung der Zerstäubungsqualität von oben in den heissen Ziegelöfen eingespritzt. Die Spritzölfeuerung ist heute der Ziegelindustrie nicht mehr wegzudenken. Die Spritzölfeuerung kommt allen Bedürfnissen der modernen Ziegelfabrikation nach weitgehender Automatisierung, Arbeitseinsparung, Sauberkeit usw. derart gerecht zu werden, dass ihre allgemeine Einführung nur eine Frage der Zeit sein kann.

Bezüglich der Brennerauswahl bei der Glasindustrie bestehen unterschiedliche Auffassungen, so dass sowohl Druckzerstäuber als auch Luftzerstäuber verwendet werden. Um die für Glasschmelzöfen erforderliche hohe Zerstäubungsgüte zu erreichen, werden am meisten Pressluftzerstäuber eingesetzt. Diese Brenner besitzen den Vorteil, dass die Düse mit Druckluft gekühlt wird und der Brennerkopf vor Verschmutzung geschützt.

Der Schwefelgehalt im Heizöl kann zu Natriumsulfat-Bildungen am Mauerwerk führen, dessen Lebensdauer dadurch nachteilig beeinflusst wird. Im Glas können sich feine Bläschen aus Sulfaten bilden, die jedoch nur bei besonders feinem Glas, zum Beispiel bei Fernsehrohren, entscheidend sind. Diese Nachteile lassen sich aber durch geeignete Flammenführung vermeiden.

Ernste Nachteile für das Glas können auf den Vanadiumgehalt des Öles zurückgeführt werden, da Vanadium zu Verfärbungen führt. Die obere zulässige Grenze für den Vanadiumgehalt im Heizöl scheint bei 0,012 - 0,014 % / als V_2O_5 / zu liegen.

Ebenso wie beim SM - Ofen, liegt der Vorteil der Ölfeuerung im Glaswannenofen in der hohen Strahlung der Ölflamme. Die Wärmeübertragung

durch Strahlung der Ölflamme hängt von dem in der Flamme gebildeten Russ ab. Nach Versuchen in Ijmuiden ist die Flammenstrahlung desto grösser, je höher das C/H - Gewichtsverhältnis im Brennstoff ist und je höher dessen Siedepunkt liegt.

In den Hüttenwerksanlagen werden nur solche Ölbrenner angewendet, die mit Zerstäubungsträgern arbeiten. Ölbrenner mit Doppelzerstäubung hat sich bei der Stahlindustrie sehr bewährt. Besonderheit dieser Konstruktion besteht darin, dass das Zerstäubungsmedium-Heissdampf oder Pressluft / kalt oder heiss/ wird an zwei verschiedenen Stellen mit Heizöl in Kontakt gebracht. Durch die Doppelzerstäubung erfolgt eine so feine Zerstäubung des Öles und dadurch eine intensive Mischung mit der Verbrennungsluft, dass ein Ausbrand der Flamme auf kürzestem Wege erreicht wird. Vorteil bei dieser Konstruktion liegt darin, dass die Flammenlänge durch Regulierung der Doppelzerstäubung in weiten Grenzen einstellbar ist. Auf Grund dieser Eigenschaft sich der eignet Ölbrenner besonders an Siemens-Martin-Öfen.

Der Einsatz von Schwefelhaltigen Heizöl in SM-Öfen stellt Wesentliche Probleme dar. Zur Zeit hat es den Anschein, dass die Herstellung Schwefelarmer Stähle nur mit schwefelarmen Heizölen möglich ist. Da aber mit laufendem Anstieg des Schwefels im Heizöl gerechnet werden muss, stehen Forschungen bezüglich Verringerung der Schwefelaufnahme des Stahls bzw. Entfernung des Schwefelgehaltes an erster Stelle, da die Nachfrage nach schwefelarmen Stählen laufend wächst. Zur Herstellung von Stählen mit 0,025 % Schwefel muss heute noch ein Heizöl mit etwa 0,5 bis 0,85 % Schwefelgehalt geordert werden. Mit einem Heizöl mit ca. 3% Schwefel können Stähle mit 0,04% Schwefelgehalt erzeugt werden.

Korrosionsprobleme bei Schwerölen.

Die Raffinationstechnik ist natürlicherweise bestrebt, die höchstmögliche Ausbeute an hochwertigen leichten Ölprodukten zu erzielen. Schweröl ist heute der Rückstand aus dem Raffinationsprozess. Im Zuge der rasch steigenden Raffineriekapazitäten ist Heizöl in steigender Menge auf dem Markt absetzbar. Jede Verbesserung der Schwerölqualität bedeutet einen Verlust an Ausbeute von höherwertigen Mineralölprodukten. Auch die Rohölqualitäten weisen nach Gehalt an gelösten mineralischen Stoffen starke Unterschiede auf. Die Qualitätsunterschiede des Erdöls, die oft innerhalb des gleichen Förderreviers von Quelle zu Quelle deutlich werden, spielen für die schweren Mineralölprodukte eine grosse Rolle. Die Raffination strebt in erster Linie eine gleichmässige Qualität bei Kraftstoffen an.

an, mit der Folge, dass die unerwünschte chemischen Bestandteile sich in den schweren Heizölen konzentrieren. Die Tendenz zur Verminderung unerwünschter chemischer Bestandteile in den leichten Kraftstoffen, erhöht also den Grad der Verunreinigungen im Schweröl. Alle bisherige Versuche zur Beseitigung der chemischen Verunreinigungen aus Heizölen scheiterten bisher an der Kostenfrage.

Wir sehen also, dass die Heizöle sehr unrein und sehr heterogen sind und in diesem Zustand an die Industrie geliefert werden.

Man muss daher versuchen, sie zu verbessern, um auf diese Weise einen besseren Ertrag zu erzielen und vor allem, um so weit wie möglich die korrosive Wirkung des Schwefels zu verhindern.

Während die Hochtemperaturkorrosionen z.Z. noch keine entscheidende Rolle im Kesselbetrieb und bei Industrieanlagen spielen, da es nur wenige Anlagen mit Temperaturen über 600°C gibt, stellen die Niedertemperaturkorrosionen durch Taupunkt unterschreitungen in den Nachschaltheiflächen um so schwerere Probleme. Die Bildung von SO_3 kann erwiesenermaßen durch Senkung des Luftüberschusses erheblich verringert werden. Es sind schon zahlreiche Lösungen vorgeschlagen worden, aber diese beziehen sich nur auf einen Teil der zu lösenden verschiedenen Probleme.

Einige Zugaben / Additive / sprüht man direkt in die Flamme als Pulver / Dolomitstaub, Magnesiumkarbonat, Zinkstaub/, die aber nicht auf den Schlamm, die Viskosität und die Viskosität und die Verbrennung wirken. Sie schaffen im Gegenteil bedeutende Staubablagerungen und verbreiten sich vor allem in der Atmosphäre. Andere Additive wirken wieder auf den Schlamm, aber weder auf die Viskosität noch auf die Korrosion, oder sie wirken auf den Schlamm und auf die Verbrennung, nicht aber auf den Schwefel.

Von der weiteren Entwicklung wird jedoch erwartet, dass Problem der Niedertemperaturkorrosionen durch die Führung der Verbrennung gemeistert wird /gesicherte Zerstäubung durch verringerte Viskosität des Öles und knappen Luftüberschuss./

Deswegen ein Additiv muss vielseitig sein, d.h. mehreren Zwecken dienen.

Es muss sogleich wirken auf:

- a/ die Korrosion,
- b/ die Viskosität,
- c/ die Verbrennung und
- d/ den Schlamm.

Ein Additiv muss sich völlig mit dem Heizöl vermischen und dieses Gemisch muss stabil sein, ungefährlich und sicher gegen Vergasung während der Erwärmung des Öles in den Lagertanks.

Der hohe Gehalt an Schwefelverbindungen insbesondere bei schweren Heizölen erzeugt im Verbrennungsprozess erhebliche Anteile von SO_2 und SO_3 . Durch Untersuchungen wurde festgestellt, dass die sich bei der Verbrennung bildende SO_3 - Menge steigt mit dem Schwefelgehalt des Öles. Zwischen 0,5 und 4,0 % S sinkt der Anteil des SO_3 übergelassenen SO_2 von 5 auf 3,2 %. Die Flammentemperatur hat starken Einfluss: höhere Temperaturen geben höheren SO_3 - Gehalt, vermutlich durch stärkeren Anteil an atomarem Sauerstoff.

Die Verwendung von Additiven wie Dolomitstaub, Magnesiumkarbonat, Zinkstaub, Ammoniak sowie tertiären Aminen, spielt heute für die Korrosionsverhütung die Hauptrolle.

Versuche mit Magnesium und Zink enthaltenden Zusätzen und mit Dolomit zeigen die Möglichkeit der Taupunktsenkung bei 0,15 bis 0,55 % Mg, 0,23 - 0,47 % Zn und 0,8 % Dolomit in Gewicht prozent des Heizöls. Wesentlich geringer sind Ablagerungen, wenn man statt Dolomit den Ammoniak in die Rauchgase einbläst. Man braucht davon sehr viel weniger, da die Reaktion von gasförmigem NH_3 mit SO_3 natürlich schneller und vollständiger verläuft als mit festem Dolomit, auch wenn dieser auf 5 My gemahlen wird.

Die Ammoniak - Einbringung muss allerdings an der richtigen Stelle erfolgen, denn bei ca 500°C beginnt NH_3 zu zerfallen. Die günstigste Rauchgastemperatur für Ammoniak einspritzung ist 350°C . Eine Schwierigkeit ergibt sich aber daraus, dass es sich um ausserordentlich geringe Mengen nur 0,02 - 0,05 % NH_3 / bezogen auf Heizöl/ handelt, die in einer sehr grossen Rauchgasmenge auf kurzer Strecke gleichmässig verteilt werden müssen.

Ö l a s c h e .

Es ist hier notwendig noch über die Asche zu sprechen, die vor allem in Rückstandsölen vorkommt. Bei der Gasturbinen setzt das Verhalten der Ölasche dem Ölasche dem Wirkungsgrad Grenzen. Vanadium - pentoxyd V_2O_5 hat einen relativ niedrigen Schmelzpunkt von 675°C . Ist dazu noch Natrium vorhanden, so bilden sich Eutektika von noch niedrigeren Schmelzpunkten. Aus diesen Gründen können

Gasturbinen bei Verwendung vanadium - und natriumhaltiger Heizöle nur mit Eintrittstemperaturen von etwa 620°C längere Zeit betrieben werden. Die Hochtemperaturkorrosionen sucht man ebenfalls durch Verwendung von Additiven zu meistern, ohne bisher zu wirklich schlüssigen Ergebnissen zu kommen.

Schlammablagerungen.

Man stellt fest, dass bei normaler Sauberkeit der Heizöl-Lagertanks die oft monatelang dauern kann, ohne sichtbaren Grund Ablagerungen auftreten, die regelmässig zunehmen und die dann die Rohrleitungen verstopfen, die Filter verschmutzen und auf diese Weise Betriebsstörungen verursachen können. Schlammablagerungen bilden also immer einen Nachteil. Frage was ist Schlamm, kann beantwortet werden.

Es ist ein komplexes Gebilde, bestehend aus Öl, Staub, Kristallisiertem Kohlenwasserstoff, Paraffinen, Kolloidalen, Asphalten, Harzsäuren usw. Diese Zusammensetzung zeigt deutlich Bestandteile von verschiedenartiger Löslichkeit, unsicherer Beständigkeit und empfindlich gegenüber den geringsten Schwankungen. Sie zeigt, dass diese Niederschläge im allgemeinen durch Gemische von Öle verschiedener Herkunft verursacht werden, die auf diese Weise die Schwankung des Gleichgewichts herbeiführen, das von ihrer Mischung bestand.

Schlusswort.

Bevor wir zum Schluss kommen müssen wir feststellen, dass die schweren Heizöle ausser den eingangs erwähnten Vorteilen auch einige Schwierigkeiten mit sich bringen. Für die Überwindung dieser Mängel sind zwar prinzipielle Möglichkeiten bekannt, aber es bedarf im einzelnen grosser Erfahrungen bzw. gründlicher Voruntersuchungen, wenn ernsthafte Störungen vermieden werden sollen.

Die Ansichten, wie die künftige Verteilung der verschiedenen Brennstoffe für Industrie erfolgen soll, haben sich in den letzten Jahren grundlegend geändert. Während frühere Voraussagen davon ausgingen, dass die Brennstoffe - Kohle und Erdöl - für begrenzte Zeit vorhanden seien, ist man heute der Ansicht, dass Erdöle und auch Erdgase noch auf lange Zeit der Welt zur Verfügung stehen. Für die Aufteilung der Brennstoffe sind somit heute nicht mehr Vorrat und Angebot, sondern die Zweckmässigkeit ihrer Verwendung im Hinblick auf die Produktion massgebend.

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ
РАЗДЕЛЕНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ СУСПЕНЗИЙ В АНИЛИНО-
КРАСОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кандидат технических наук

Т. А. Малиновская

Научно-исследовательский институт органических полупро-
дуктов и красителей

Москва, СССР.

Разделение суспензий большинства органических кра-
сителей представляет большие трудности в связи с высокой
дисперсностью (1-5 μ) и малым удельным весом твердой фа-
зы.

Единственным способом разделения этих суспензий я-
вляется их фильтрование под давлением через плотные тка-
невые перегородки на рамных не механизированных фильтр-
прессах. Т.к. в процессе фильтрования на ткани образует-
ся слой мажущего плотного осадка, оказывающий большое
сопротивление прохождению через него жидкости, произво-
дительность процессов фильтрования, промывки осадка и
его обезвоживания чрезвычайно мала, а механизация про-
цесса является затруднительной и дорого стоящей.

В докладе приводятся результаты двух работ по ин-
тенсификации процессов разделения суспензий и обезвожи-
вания осадков физико-химическими методами и результаты
испытаний новой конструкции механизированного фильтр-

пресса ФПАК, при фильтровании высокодисперсных суспензий красителей.

1. Интенсификация процессов разделения суспензий путем агрегации частиц высокополимерными флокулянтами.

Физико-химические явления на границе раздела твердое тело - жидкость оказывают большое влияние на разделение суспензий.

Образование агрегатов из мельчайших частиц улучшает процессы фильтрования и осаждения, как в связи с уменьшением удельной поверхности частиц, так и в связи с увеличением пористости осадка. Высокий ζ - потенциал на границе твердая фаза - жидкость снижает скорость фильтрования как в связи с тем, что противодействует агрегации частиц, так и в связи с тем, что повышает роль двойного электрического слоя в капиллярах пасты, противодействующего течению жидкости через капилляры. Снижение ζ - потенциала путем прибавления к суспензии поливалентных электролитов способствует повышению скорости фильтрования, с одной стороны, в связи с уменьшением влияния двойного электрического слоя, с другой стороны, в связи с образованием крупных агрегатов.

Однако условием хорошего качества многих красителей (для искусственных волокон, пластмассы и т.п.) является их высокая дисперсность, а агрегаты, созданные с помощью электролитов, настолько прочны, что восстановить исходную дисперсность чрезвычайно трудно. Таким образом, возникает необходимость создания условий временного увеличения размера частиц - создания непрочных агрегатов, легко распадающихся после фильтрования при механическом действии.

Такая агрегация может быть создана с помощью высокополимерных флокулянтов (ВПФ), полиэлектролитов, длинные молекулы которых в воде диссоциируют на высокополимерные ионы с множеством активных групп (SO_3H , NH_2 , CH_3COO и др.) и маловалентные ионы. Знак заряда высокомолекулярного иона определяет характер действия флокулянта (катионное, анионное или катионно-анионное). В связи с этим выбор фло-

кулянта определяется знаком ζ - потенциала частиц суспензии.

Одним из самых сильных флокулянтов с катионно-анионными свойствами является частично гидролизованный полиакриламид/ПАА. Так как анионные свойства у ПАА выражены более сильно, чем катионные, то для агрегации частиц суспензий, имеющих отрицательный ζ - потенциал (большинство органических пигментов), необходимо снижать ζ - потенциал путем добавления небольших количеств катионного поливалентного электролита, например, соли Al^{+++} (до порога коагуляции).

В табл. 1 представлены результаты интенсификации процессов фильтрации и осаждения высокодисперсных суспензий путем агрегации частиц полиакриламидом.

В процессе работы был сделан ряд наблюдений а выяснено влияние различных факторов на эффективность действия флокулянтов.

Агрегация электролитами и ВПФ имеет различный характер. При агрегации электролитами (Al^{+++}) происходит изменение знака ζ - потенциала на противоположный и плотное слипание частиц пигмента в прочные агрегаты, которые не разрушаются при надавливании на покровное стекло (при рассматривании суспензии под микроскопом).

При добавлении электролита перед агрегацией ПАА (до порога коагуляции) ζ - потенциал снижается, но изменения его знака не происходит. При этом силы отталкивания между частицами уменьшаются настолько, что последние могут быть стянуты в агрегаты адсорбированными на их поверхности длинными молекулами ПАА. При агрегации частиц ПАА величина ζ - потенциала не изменяется.

Эти агрегаты отличаются малой прочностью и могут быть разрушены при надавливании на покровное стекло.

2. Кривая зависимости между количеством добавляемого ПАА (а) и продолжительностью фильтрации имеет минимум (рис.1). При увеличении количества ПАА сверх оптимального скорость фильтрации уменьшается в связи с адсорбцией избыточных молекул ПАА в капиллярах слоя осадка и фильтрующей ткани.

3. Эффективность действия ПАА, а, следовательно, и скорость фильтрования и осаждения зависит от концентрации добавляемых растворов ПАА и от качества перемешивания при прибавлении раствора ПАА. Снижение концентрации раствора и тщательное перемешивание создают условия быстрого контакта всей массы суспензии с раствором ПАА, равномерного распределения молекул ПАА по объему суспензии и получения агрегатов одинакового размера.

4. Эффективность действия ПАА, а, следовательно, и скорость фильтрования зависят в большой степени от величины ζ - потенциала и pH среды. Влияние ζ - потенциала упоминалось в пункте 1.

Влияние pH суспензии видно из графика (рис.2) зависимости продолжительности фильтрования одинаковых объемов суспензий пигмента желтого светопрочного с одинаковыми добавками раствора ПАА (кривая 1) и без последних (кривая 2) от pH суспензий. При рассмотрении этих суспензий было видно, что суспензии с pH 3, 5, и 7 хорошо агрегировались ПАА, суспензия с pH 9 агрегировалась слабо, а с pH 11 - совсем не агрегировалась. В связи с адсорбцией молекул в порах осадка и перегородки суспензия с ПАА с pH 11 фильтровалась дольше, чем та же суспензия без ПАА.

Кривая 3 показывает изменение величины ζ - потенциала суспензии без добавок при изменении ее pH. Как видно, при увеличении pH до 11 - потенциал увеличивается от 0,028 до 0,043 мв одновременно с этим увеличивается продолжительность фильтрования (кривая 2).

5. Эффективность действия ПАА зависит от содержания твердой фазы в суспензии. На рис.3 показана зависимость снижения продолжительности фильтрования ($\frac{T}{T_0}$) от содержания твердой фазы в суспензии при одном и том же количестве ПАА.

В процессе работы было замечено также, что мелкие частицы агрегируются труднее чем крупные и что кристаллы, имеющие вытянутую игольчатую форму, не агрегируются совсем.

П. Снижение влагосодержания паст пигментов
с помощью электроосмоса.

Многие гидрофильные осадки высокодисперсных органических пигментов не могут быть отжаты при фильтрации обычными методами до необходимого влагосодержания. Часто остаточное влагосодержание доходит до 85-88% и не может быть снижено путем упаривания паст, т.к. тепловое воздействие приводит к агрегации частиц, высокая дисперсность которых должна быть сохранена и повышена путем последующего диспергирования. На границе поверхности частиц пигментов с водой образуется довольно высокий отрицательный ζ - потенциал (до 20 Мв), который, благодаря образованию двойного электрического слоя, противодействует продавливанию жидкости через капилляры пасты. Противоионы жидкости в капиллярах имеют положительный заряд, в связи с чем при помещении пасты между двумя противоположно заряженными электродами жидкость начинает двигаться к катоду. Схематическое устройство электроосмотического фильтра-обезвоживателя представлено на рис.4.

Слой пасты над сетчатым анодом (1) необходим для подсосывания из него влаги в подсыхающую под анодом пасту, а перфорированный диск (4) с грузом (5) служил для предотвращения нарушения контакта между анодом и подсыхающей пастой. Процесс обезвоживания осуществлялся при градиентах потенциала 5-10 в/см и продолжался от 10 до 40 мин, в результате чего влагосодержание снижалось на 10-25%, что составляло примерно 0,42 кг воды на 1 кг 100%-ного пигмента. Перед началом обезвоживания осадок отмывался от кислоты до pH 6, т.к. при обезвоживании неотмытых паст наблюдалось повышение температуры осадка, что вело к агрегации частиц и повышению расхода электроэнергии. Нормальный расход электроэнергии до 0,05 квч/кг сухого пигмента, что в 10-15 раз ниже, чем расход электроэнергии на сушку пигментов на вальцеленточной сушилке. Анализ пасты после обезвоживания показал, что качество красителя не изменилось.

Зависимость производительности процесса (Q), расхода

электроэнергии (W) и конечного влагосодержания (c) от градиента потенциала $\frac{E}{L}$ при $L = \text{const}$. представлена на рис.5. Пределом повышения градиента потенциала являлось повышение температуры пасты.

Зависимость Q, W и c от толщины слоя осадка L при $\frac{E}{L} = \text{const}$. представлена на рис.6.

Интенсивность влагоотделения и конечное влагосодержание паст зависят главным образом от величины \mathcal{E} потенциала. С целью повышения \mathcal{E} - потенциала в пасты добавлялись поверхностно-активные вещества (диспергаторы НФ и ОС-20) и аммиак.

В таблице 2 представлены результаты электроосмотического обезвоживания паст различных пигментов с добавками поверхностно активных веществ и без последних. На примере пигмента яркокрасного 4Ж можно проследить влияние величины \mathcal{E} - потенциала, который изменяется от - 19 до - 35 Мв на конечное влагосодержание осадка.

III. Испытания механизированного и автоматизированного камерного фильтрпресса (ФПАК).

Для механизации процесса фильтрации под давлением Машиностроительным институтом УкрНИИХИММАШ была создана новая конструкция механизированного и автоматизированного камерного фильтрпресса (ФПАК) (рис.6) с горизонтально расположенными камерами (1), герметизированными кольцевыми резиновыми шлангами эллиптического сечения (2). Фильтрующая ткань (3) проходит через все камеры непрерывной лентой, огибая приводные (4) и натяжные ролики (5), и выгрузка осадка осуществляется путем передвижения ткани и снятия осадка ножами (6). Управление фильтром осуществляется автоматом с электрогидравлической системой управления. Конструкция ФПАКа позволяет вести процесс в оптимальных условиях: при высоком давлении (до 5 ати) и с тонким слоем осадка, расположенного горизонтально, что создает условия для тщательной промывки последнего. Фильтр снабжен устройством для регенерации ткани.

Испытания ФПАК на суспензиях анилино-красочной про-

мышленности осуществлялись в НИОПиКе и на заводах. Фильтрование подвергались различные суспензии азокрасителей, кубовых и сернистых красителей и органических пигментов с различными химическими и физико-химическими свойствами, с размером частиц от 2-3 до 20-40 м.

Средние технологические показатели, полученные при фильтровании этих суспензий, представлены в табл. № 3, в которую для сравнения внесены соответствующие данные по фильтрованию суспензий на рамных фильтрпрессах.

Как видно из таблицы № 3, различие между съемом осадка с кв.м. поверхности ФПАКа и рамного фильтрпресса зависит от типа суспензии и характера осадка; так, например, для сернистых и кубовых красителей производительность ФПАКа в 15-20 раз выше, чем производительность рамного фильтрпресса, для азокрасителей она выше в 4-6 раз, а для азопигментов - всего в 2-3 раза. Такое различие в сравнительных результатах фильтрования разных суспензий, а также снижение производительности и увеличение расхода сжатого воздуха сравнительно с расчетными величинами (на основании данных фильтрования на лабораторном фильтре) объясняется как физико-химическими свойствами суспензий и образующихся осадков, так и конструктивными особенностями фильтра. В процессе испытаний и исследования работы фильтра было выяснено, что причины указанных несоответствий состоят в не совсем одинаковых условиях фильтрования в верхних и нижних камерах фильтра, которые усугубляются при фильтровании суспензий, образующих растрескивающиеся осадки.

Фильтрование на ФПАКе имеет ряд преимуществ сравнительно с работой на рамных фильтрпрессах: а/ полная механизация процесса, б/ ликвидация контакта обслуживающего персонала с вредными для здоровья продуктами, в/ возможность работы при оптимальной для данного продукта толщине слоя осадка, г/ возможность тщательной промывки осадка, д/ малая длительность вспомогательных операций, е/ в большинстве случаев значительное повышение съема осадка с кв.м. поверхности фильтрации.

Однако, в связи с тем, что эффективность использования ФПАКа зависит от характера (физико-химических свойств) суспензий и осадков, вопрос о целесообразности замены фильтрпрессов ФПАКа может быть решен только после всестороннего лабораторного обследования суспензий.

Т. А. Малиновская

Т а б л и ц а 1

Наименование суспензии	Содержание твердой фазы в суспензии г/л	Оптимальное количество ПАА			Соли Al		Во сколько раз увеличена скорость	
		в граммах, на литр суспензии	в % к твердой фазе	в г/л суспензии	в % к твердой фазе	осаждения	фильтрация	
Пигмент желтый 2К после диспергирования и сепарации	70-80	0,025-0,05	0,037-0,07	1,35-2,7	3,6	10-20	5-20	
Пигмент голубой фталоцианиновый			0,2-0,3	-	-	3		
Лак бирюзовый			0,2-0,3	-	-	2-3	2	
Кубовый оливковый	16	0,1	0,62	0,53	3,3			
Хинизарин	21	0,018	0,085	0,07	0,33		3,3-3,4	
Ализарин	18	0,008	0,045	-	-		2-2,5	
Гипс в промышленности	2	0,0125-0,025	0,35-0,7	-	-	5		
Пигмент желтый светлопрозрачный	50	0,023	0,045	0,13	2,54			

1 0 1

5

Т а б л и ц а 2

Основные показатели процесса электроосмотического обезвоживания паст пигментов.

№	Наименование паст	Электрокинетический потенциал, мВ	Исходное влагосо-держание, %	Конечное влагосо-держание, %	Расход электроэнергии, квч/кг сухого пигмента	Производительность, кг/кв. метр в час	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Пигмент бордо 2С	-21,0	80,4	70	0,387	8,07	
2	Пигмент коричневый КВ	-17,0	77,8	69,4	0,08	8,5	
3	Пигмент голубой фталоцианиновый	-2,28 -3,4	72,9 72,9	66,7 55-60	0,0137 0,02-0,1	6,88 14-22	без добавок дисперг. ОС-20 0,7 % 100 % дисп. к сух. пигменту
4	Пигмент зеленый фталоцианиновый	-35	69,7 69,7	62 45-55	0,046 0,04-0,2	8,68 12,28	без добавок с добавкой дис- перг. НФ
5	Пигмент яркочер- сный 4Ж	-19 -30	79,4 79,4	71 67	0,036 0,08	17,2 15	без добавок с дисп. НФ /0,7% к сух. пигменту/

Т а б л и ц а 2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
5	Пигмент яркочер- сний 4Ж	-35	79,4	62	0,15	13,35	с добавк. дис- перг. НФ 0,7 % к сухому пигменту и 5 % конц. р-ра аммиака
6	Пигмент желтый светлопрозрачный	-3,2	78	68	0,11	15,15	с добавкой дис- перг. НФ

Т а б л и ц а 3

№№	Наименование	Содержание твердой фазы в исходной суспензии г/л	Средняя производительность фильтра в пересчете на сухой продукт, кг/м ² час		Влажность осадка, %	Характер осадка	
			автоматизированный фильтр при толщине рамы 40-56 мм	плиточный фильтр-пресс			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Кубовый золотисто-желтый ЖХ	63,3	6-7	0,2	45-47	52	Сравнительно крупно-кристаллический, очень слабо растрескивающийся Не растрескивающийся Слабо растрескивающийся Слабо растрескивающийся
2	Индиго	27,0	2,5-3,5	0,25	65-67	70-75	
3	Дибензантроним	100,0	3,5-4,5	0,15-0,25	63-65	65-70	
4	Прямой черный З	79,2	5-7	1,25-1,8	55-58	60-65	
5	Прямой синий КМ	102,0	2,8-3,5	0,6-0,7	66-68	70-72	
6	Прямой зеленый ЖХ	58,0	2,3-2,6	0,4-0,6	68-75	65-70	

Т а б л и ц а 3 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Сернистый темно-синий		24,3	1,0-1,5	50	50	Не растрескивающийся, сравнительно крупнокристаллический
8	Сернистый черный		24	1,5	45-54	ок.60	
9	Сернистый синий светопрозрачный		25	1,0-1,5	50-55	ок.60	
10	Динитрофенилсульфид-дисульфидокислый натрий		40	1,3			
11	Тиондиго оранжевый КХ		4,5-5	0,4	75	80	
12	Пигмент алый	55,0	3-3,5	0,7	56-67	65	Сильно растрескивающийся
13	Пигмент красный С	3,5-3,7	1,87	0,43	71,5	63-70	Очень сильно растрескивающиеся, высокодисперсные осадки
14	Лаковый красный С	3-6	1,82	0,5	61	63	
15	Пигмент красный К	6,4	1,6	0,7-0,8	75	70	
<p>Примечание. Для некоторых продуктов (пигменты и прямые красители) производительности ФПАКа занижена в связи с тем, что на опытно образце фильтра с зазором 8-10 мм не удавалось получить оптимальной толщины слоя осадка.</p>							

СПИСОК РИСУНКОВ

к докладу Т.А. Малиновской

"О некоторых вопросах интенсификации и механизации разделения высокодисперсных суспензий в анилино-красочной промышленности"

- Рис. 1 - Зависимость продолжительности фильтрования от количества добавляемого полиакриламида.
- Рис. 2 - Зависимость между продолжительностью фильтрования, pH суспензии и ζ -потенциалом.
- Рис. 3 - Зависимость снижения продолжительности фильтрования $(\frac{\tau}{\tau_0})$ от содержания твердой фазы в суспензии.
- Рис. 4 - Схематическое устройство фильтра-обезвоживателя.
- Рис. 5 - Зависимость производительности процесса $/Q/$, расхода электроэнергии $/W/$ и конечного влагосодержания (C) от градиента потенциала $|\frac{E}{L}|$ (при $L = \text{const}$).
- Рис. 6 - Зависимость производительности процесса $/Q/$, расхода электроэнергии $/W/$ и конечного влагосодержания (C) от толщины осадка $/L/$ (при $\frac{E}{L} = \text{const}$).
- Рис. 7 - Схема устройства автоматизированного камерного фильтрпресса:
- 1 - плиты;
 - 2 - приводные ролики;
 - 3 и 4 - коллекторы;
 - 5 - камера для регенерации ткани;
 - 7 - натяжной ролик;
 - 8 - ножи;
 - 9 - шланги.

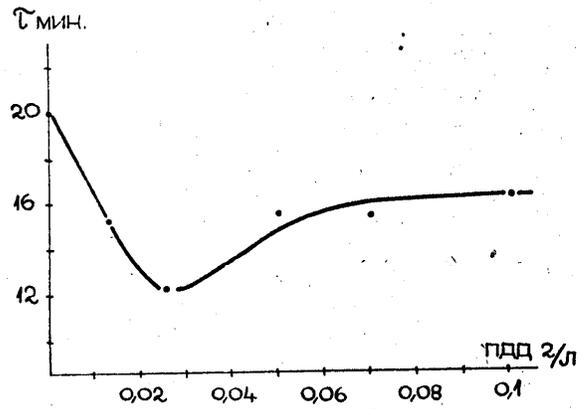


РИС. 1

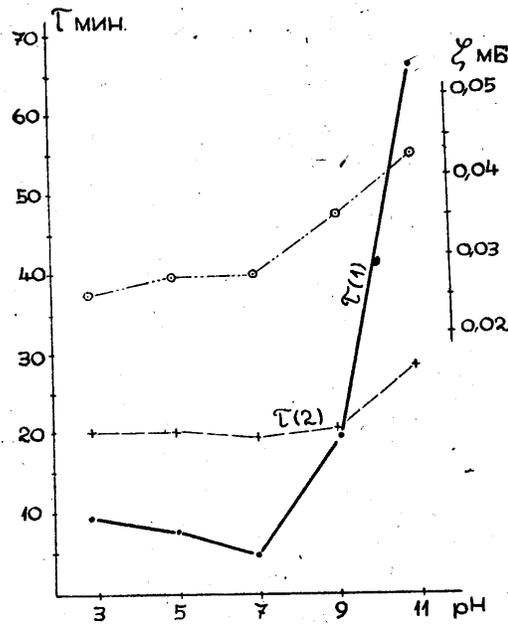


РИС. 2

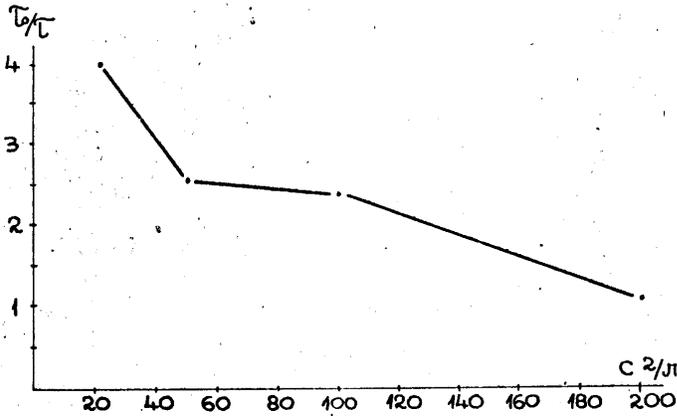


Рис. 3

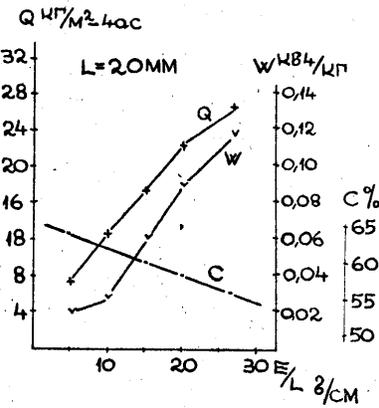


Рис. 5

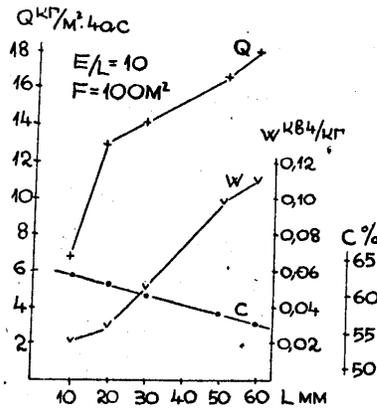


Рис. 6

57

**NEUE FILTERMETHODEN FÜR KRAFT - UND SCHMIER -
STOFFE SOWIE KÜHLMITTEL UND PRODUKTIONSMASSEN**

Herbert Wunder
Schmier-Techniker
Dresden - Deutsche Demokratische Republik

Der Schaden, der durch physikalischen und chemischen Verschleiss entsteht, wird in Deutschland allein jährlich auf ca 15 Milliarden Mark geschätzt. Die Ursachen des Verschleisses sind verschiedener Art. Das entscheidende Abbremsen des Verschleisses in Motoren und Maschinen resultiert aus der Funktion der Schmierung und nicht zuletzt aus ihrer Filterung. Der Sinn des Diskussionsbeitrages soll darin liegen, auf eine der grossen Möglichkeiten - auf das Gebiet der Filtertechnik - hinzuweisen, das in wachsendem Mass dazu verhilft, Millionen an Volkseinkommen zu erhalten.

**C h a r a k t e r i s t i k d e r m e c h a n i s c h e n
u n d d e r n e u e n F i l t e r t y p e n**

Völlig neuartige Hochleistungs-Feinst-Filter nach Patent " SOMMERMEYER ", die nach dem Gleichstromprinzip und mit einem sogenannten Kurzfeld-Magnetsystem arbeiten, gewährleisten eine entscheidende Verschleissminderung und zugleich Verzögerung der Öloxydation, die durch katalytischen Einfluss der zahlreichen, vor allem der feinsten Abriebpartikel hervorgerufen wird. Im ersten Bild (Seite 2)

sehen wir den katalytischen Einfluss verschiedener Metalle auf Öl. In Spalte zwei ist ersichtlich, dass Eisen am stärksten wirkt. Feinst verteiltes Eisen im Öl ruft in Anwesenheit höherer Temperaturen nach neuesten Forschungen eine raschere Öloxydation hervor als Kupfer. Die neuen Filter werden heute in fast allen Fällen anstelle mechanischer Filtertypen, wie z.B. Spaltfilter, Papierfilter, Siebscheiben-Feinst-Filter, Siebfilter, Kombinationsfilter in die verschiedensten Maschinengattungen eingebaut.

Im zweiten Bild ist die neu entwickelte Type "MICRO-S-FILTER" sichtbar. Mit grossem Erfolg wird diese in Diesel- und Otto-Motoren, Turbinen, Kompressoren, Getrieben, Hydrauliken, Werkzeugmaschinen - kurz in alle Ölumläufe - auch in Einlauf- und Prüfstände serienmässig eingebaut.

Mechanische Filter erfordern, um eine entsprechend grosse Filteroberfläche zu erzielen, eine wesentlich grössere und schwerere Bauart als die neu entwickelten "MICRO-S-FILTER". In einem Gehäuse, in das die Hydrodynamik in den Filtervorgang mit einbezogen wurde, ist eine Magnet-Filter-Patrone eingeschraubt. Sie induziert das darüber gesteckte Ringsieb, das vorn am Eintritt des Mediums geschlitzt ist und einen sogenannten Einschwemmeffekt erbringt. Innen ist das Sieb mit einer feinen Gaze ausgekleidet. So entsteht - wie das nächste Bild zeigt - eine Art Filtersack, in dem die Verunreinigungen festgehalten werden, ohne dass die Gefahr besteht, dass die Teilchen sich wieder lösen.

Früher wurden oft Nebenstromfilter angeordnet. Sie haben den Nachteil, dass nur 2 - 5 % des Umlauföles tatsächlich gefiltert werden. Die Verschleisspartikel bleiben somit im Ölkreislauf und richten inzwischen erhebliche Schaden an. Hauptstromfilter sind schon besser, aber auch sie besitzen Nachteile dergestalt, dass meist Umgehungsventile mit beträchtlichem Gewicht erforderlich

werden, damit das Öl notfalls, wenn es kalt oder der Filtereinsatz stark verschmutzt ist, ungefiltert zu den Schmierstellen gelangen kann. Auch dürfen nur geringe Ölverluste auftreten, weswegen die Poren des Filtereinsatzes beziehungsweise die Maschen der Siebe oder die Spalte nicht zu klein und eng sein dürfen. Eine weitere Schwierigkeit entsteht bei Verwendung mechanischer Filter dadurch, dass durch die geringe Porengröße beim Papierfilter oder die enge Spaltbreite beim Spaltfilter auch die Additives - die den Schmierstoffen zugegebenen Wirkstoffe - beziehungsweise andere Ölzusätze, wie Molybdädisulfid oder Graphit - Ölsuspensionen mit zurückgehalten werden. Das folgende Bild zeigt die Verarmung an Wirkstoffen in einem hochlegierten Motorenöl durch ein mit Absorbieren imprägniertes Zellulose- Packungsfilter.

Wir sehen, wie nach bereits fünf Stunden eine beträchtliche Minderung an Wirkstoff im Öl eingetreten ist, was naturgemäss nicht im Interesse des Verbrauchers liegen kann. Das neue "MICRO-S-FILTER" scheidet Additives oder andere Zusätze nicht aus.

Mechanische Filter erbringen weitere Nachteile insofern, als bei Verschlämmungen oder Verstopfungen die Schmierung ausfallen kann und weiterhin entstehen durch Benutzung sogenannter Austausch-Patronen erhebliche laufende Kosten. Der Wirkungsgrad der "MICRO-S-FILTER" liegt um ein Vielfaches höher als derjenige mechanischer Filtertypen. Durch besondere Konstruktion können sie sich niemals zusetzen ; die Schmierung ist also selbst bei völliger Sättigung oder bei Unachtsamkeit in der Wartung stets gewährleistet.

Vergleiche und Ergebnisse

Das kommende Bild zeigt den Unterschied im Wirkungsgrad zwischen einem Siebscheiben-Feinst-Filter mit 60 μ Maschenweite und dem "MICRO-S-FILTER", wobei ins Auge fällt, dass der Ausscheideeffekt bei letzterem mit zunehmender Temperatur beziehungsweise abnehmender Viskosität steigt und das hat bei den heute überall angestrebten und angewendeten dünnen Ölen eine sehr grosse Bedeutung, zumal mechanische Filter sich gerade umgekehrt verhalten.

Die neuen Filter werden für Durchflussleistungen von 5 bis 10 000 l/min mit Gewinde- als auch Flanschanschluss gebaut. Sie weisen aussergewöhnlich niedrige, erstmalig konstante Druckverluste auf, wie das kommende Bild (Seite 6) zeigt. Selbst bei starker Verschmutzung tritt dieser Vorteil ein, der durch einen beachtlichen Energiezuwachs ergänzt wird, weil die Ölpumpe nur noch einen Bruchteil des Kraftbedarfs benötigt. Neueste Messungen lassen erkennen, dass gesättigte mechanische Filter einen bedeutenden Leistungsverlust mit sich bringen, während die "MICRO-S-FILTER" nur noch etwa ein Zehntel davon brauchen.

Über den wesentlich günstigeren Ausscheideeffekt informiert das nächste Bild, das Prüfstandsversuche widerspiegelt. Prüfstands-Ingenieure eines Motorwerkes bestätigen im Protokoll, dass bei gleicher Ölumlauzeit die neuen Filter einen erheblich günstigeren Wirkungsgrad gegenüber konventionellen Filtermethoden erbringen. Verglichen wurde die bisherige Kombination eines Spaltfilters (0,1 mm) mit einem Siebscheiben-Feinstfilter (0,06 mm), in einem Gehäuse vereinigt, und einigen "MICRO-S-FILTERN". Verwendet wurde ein Öl mit 15 E/50°C mit Additives versehen, das bei der Öltemperatur von 90°C umgepumpt wurde. Das verschmutzte Öl war zuvor 50 Betriebsstunden in einem Otto-Motor gelaufen. Weiter wurde festgestellt, dass nunmehr viel Platz und Gewicht

eingespart werden sowie eine Kraftstoff-Verbrauchssenkung in Verbrennungsmotoren die Folge ist. Somit ist die Nutzdauer für Motoren, Maschinen, Getriebe usw. beträchtlich erhöht.

Hydrauliköl - Filterung

Auch in Hydrauliken ist der Einbau in die Saug- oder Rücklaufleitung eine Notwendigkeit. Aus der Vielzahl vorhandener Bilder sei hier eine Teilaufnahme vom Ölbehälter einer Präzisions- Schneckenschleifmaschine erläutert.

Vorn links sind Magnet-Saug-Säulen im Kühlmittelbehälter zur Filtrierung der Kuhlflüssigkeit montiert. In der Hydrauliköl - Leitung im Hintergrund sehen wir den "MICRO-S-FILTER". Schliesslich hat man am Querschott des Hydrauliköl- Behälters zusätzlich eine Magnet-Filterplatte angebracht, damit das rückfliessende Öl, über die Platte rieselnd, seine letzten feinsten Verunreinigungen abzugeben vermag.

In der Deutschen Demokratischen Republik befinden sich die Filter in allen Hydrauliköl - Leitungen; auch in der CSSR erkannten diese Vorteile so namhafte Betriebe wie SKODA- und TATRA- Werke. Von letzterem erhielten wir die folgende Aufnahme beige stellt.

Links die komplette ausgeschraubte Patrone, daneben das entfernte und mit Verunreinigungen stark besetzte Sieb. In den Lastenkippern T 138 war das "MICRO-S-FILTER" in die Hydrauliköl-Leitung gebaut. Die schwerstbeladene Fläche des Fahrzeuges liess man wochenlang auf- und abbewegen und erzielte die hervorragenden Resultate laut diesem Bild.

Ausgeschieden werden - wie viele Analysen beweisen, ausser den den Verschleissfortschritt betreibenden, harten, scharfkantigen Stahl-Eisen-Splittern und feinstem Abrieb, auch Alu - Abrieb, Lagermetall- Abrieb, Staub, Russ, Fäden, weiterhin Produktionsrückstände wie Guss-

sand sowie Polymerisationsprodukte, wie Harze, Asphalte und Ölkohle. Das folgende Bild vermittelt eine Analyse aus einer Hydraulik-Flüssigkeit.

Eine weitere Überlegenheit ist die kürzere Reinigungszeit für "MICRO-S-FILTER", die bei etwa 1 Minute liegt, hingegen beanspruchen mechanische Filter cca 3 bis 6 Minuten.

W e i t e r e n e u e F i l t e r s y s t e m e

Ausser den erwähnten Durchlauf-Filtern gibt es noch Magnet-Filter-Stopfen als Ölwanneverschluss-Schrauben oder Magnet-Filter-Patronen, die soweit Platz vorhanden weit in das Öl im Sumpf hineinragen. Magnet-Filter-Elemente werden speziell bei Schleuderschmierung in Getriebe gebaut, wie das nächste Bild (Seite 10) vermittelt. Entweder baut man sie unten auf einer abziehbaren Platte auf oder - sofern unten kein Raum vorhanden - oben hängend ein. Die bisherige kleine Ölablassschraube ist deshalb unzweckmässig, weil der Bedienungsmann eine ordnungsgemässe Reinigung beim Ölwechsel nicht vornehmen kann. Auch am Peilstab oder schräg von der Seite können in den Getrieben die neuen Filter-Elemente angewendet werden.

F i l t e r f ü r K ü h l m i t t e l

Magnet-Filter-Platten oder Magnet- Saug-Säulen kommen in den Kühlmittelbehältern kleinerer Bauart - wie im folgenden Bild (Seite 11) ersichtlich - zur Reinigung der Kühlflüssigkeit in Betracht. Die Filtersysteme werden im letzten Behälter vor der Pumpe angeordnet, so dass die Emulsion oder das pure Schneidöl, in dünnem Strom darüber fliessend, die Verunreinigungen aus Abrieb und Korund abgeben kann. Dass hiedurch die Pumpe geschont, die Schleifscheibe eine längere Standzeit hat und die Oberflächengüte entscheidend verbessert wird, liegt auf der Hand.

In grösseren und modernen Kühlmittel-Behältern kommen heute allerorts Magnet-Filter-Automaten zur Anwendung. Das Arbeitsprinzip geht aus der nächsten Aufnahme hervor. In den Behältern ist der Automat eingehangen. Mit Eigengefälle fliesst das Kühlmittel oben ein. Ein Getriebemotor treibt die Magnetwalze an; automatisch werden Abrieb und Korund heraustransportiert. Eine Druckwalze sorgt für die Trockenquetschung der Verunreinigungen, die von einem Abstreifer in den bereitgestellten Kasten befördert werden. Die Automaten werden für Leistungen von 25 bis 2000 l/min. Durchfluss mit einem Wirkungsgrad von über 98 %, der bislang von keinem Erzeugnis am Weltmarkt erreicht werden konnte, in Schleifläpp- und Honmaschine serienmässig gebaut. Bei den Klöckner-Humboldt-Deutz-Werken in Köln war ein Wettbewerb für Automaten ausgeschrieben, der wie das nächste Bild zeigt - eindeutig vom "SOMMERMEYER" - Automaten gewonnen wurde. Aus der Vielzahl der Beispiele ein Bild (Seite 13) von der englischen Gewinde-Lehren-Schleifmaschine "MATRIX" aus Coventry, die zuvor nur gewöhnliche Ölsiebe besass. Es war nötig, am Rücken der Maschine die Wand aufzuschneiden und die Zufuhr zum Automaten mittels eines Kanals herzustellen. Damit war im Augenblick die geforderte Präzision erreicht und die vorher recht ungünstige Ausschussquote konnte auf 0 gesenkt werden. Das 2. Bild auf Seite 13 macht dies deutlich und veranschaulicht auch die Ausscheidung der Abrieb- und Korund-Verunreinigungen.

Welche Resultate mit Hilfe der neuen Filtermethoden erzielt werden können, beweist auch der Bericht aus dem Volkswagenwerk Wolfsburg-Hannover, wo anlässlich von Perth-O-Metermessungen an geläppten Ventilstösseln auf amerikanischen Superfinishmaschinen sensationelle Ergebnisse festgestellt wurden, nachdem in den Kühlölkreislauf ein " MICRO-S-FILTER MS 200 " eingeschaltet worden war. Deutlich wird das bei Betrachtung des folgenden Bildes.

Die bisherige Oberflächenrauigkeit mechanisch bearbeiteter Motorenteile lag im Bereich der 1000stel mm. Jetzt ist es möglich, die Oberflächenrauigkeit in den Microbereich der 10000stel bis 100000stel mm zu senken. Damit sind Laufeigenschaften, Nutzungsdauer und Leistung erhöht und zugleich ein niedrigerer Kraftstoffverbrauch erreicht. Diese Messergebnisse sind analog übertragbar auf alle Vorgänge der Oberflächenbehandlung von Werkstücken bis zum Verschleissvorgang selbst.

F i l t e r u n g v o n P r o d u k t i o n s m a s s e n

Auch für nahezu alle denkbaren Produktionsmassen stehen präzise arbeitende Magnet-Filter-Systeme zur Verfügung. Es lassen sich zum Beispiel Keramik- und Porzellan-Schlickermassen, Pappen- und Papiermassen, Farben- und Lackergezeugnisse, Chemische- und Kunststoffmassen, Glasuren für Emaille, Ton, Glas, Kali, Asbest, Graphit, Kork, Gummi, Schaumgummi, Zahnmaterial, Seifen, Waschpulver, Galvanische Bäder, Nahrungs- und Genussmittel, Tabak, Textilien, Petroleum in Waschanlagen und viele andere Güter von Ferroteilchen befreien. Damit werden die Bearbeitungsmaschinen vor vorzeitigem Verschleiss bewahrt und die Enderzeugnisse in Güte und in bezug auf hygienische Vorschrift verbessert.

Die Filter wurden in allen Staaten patentiert; sie stellen einen revolutionierenden Fortschritt auf dem Gebiet der Filtertechnik dar.

Das Thema beansprucht üblicherweise zwei Stunden mit über 90 Lichtbildern. Auf Einladung der tschechischen Ingenieur-Organisation VTS wird der vollständige Vortrag in verschiedenen Orten vorgesehen. Interessenten werden gebeten, sich in eine Einladungsliste einzutragen.

Auf der Messe in Brno sind die Filtersysteme in der Halle der Chemie in der Zeit vom 9.-23. Sept. ausgestellt, wo auch Werknormblätter mit allen Einbaumassen und Einbauvorschlägen zur Verfügung stehen.

ÖLSORTE UND VERHÄLTNISS	AUFGENOMMENER SAUERSTOFF IN mg PER g ÖL					
	GLAS	EISEN	KUPFER	NICKEL	ALUMINIUM	BLEI
ÖL No. 3. 2 TAGE AUF 125°C	1,7	11,5	9,8	3	3,5	8,6
ÖL No. 16. 2 TAGE AUF 125°C	1,0	6,5	5,6			
ÖL No. 15. 2 TAGE AUF 125°C	1,1	10,0				
ÖL No. 10. 3 TAGE AUF 125°C	2,0	12,0	6,4	3	7,6	

KATALYTISCHE WIRKUNG VON METALLEN AUF DIE OXYDATION
DES SCHMIERÖLES

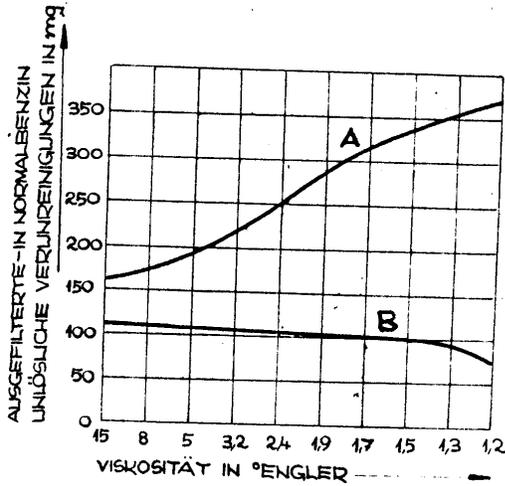
UMLAUFZEIT DES ÖLES
IN STUNDEN

1 2 3 4 5

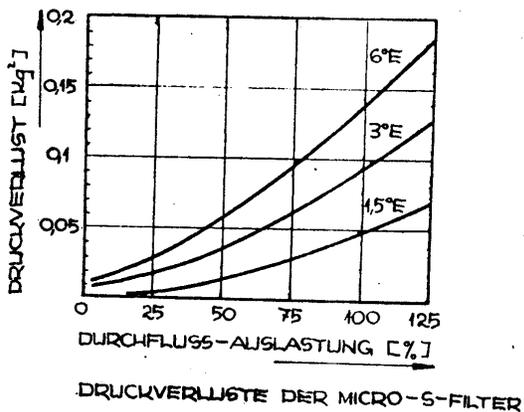
ASCHEGEHALT DES ÖLES

ANFANGS 0,52% 0,37 0,23 0,16 0,12 0,11%

NACHTEILE VON PAPIER-FILTEREINSÄTZEN
AUF DIE WIRKSAMKEIT DER HD-ÖLE



VERGLEICH DES FILTERWIRKUNGSGRADES
A=MICRO-S-FILTER B=SIEB-FEIN-FILTER
(60µ MASCHENWEITE)



FILTER - KOMBINATION:

**SPALT-FILTER (0,1mm) UND
SIEBSCHEIBEN - FEINFILTER (0,06mm)**

IN EINEM GEHÄUSE ZUSAMMENGEFASST, WIE
BISHER IN DIESEL- U. OTTO-MOTOREN VERWENDET

ÖLUMLAUFZEIT: 5 MINUTEN
RÜCKGEMESSENE FREMDSTOFFE: 150mg

MICRO-S-FILTER TYP MS 100 MIT STOFFÜBERZUG
ÖLUMLAUFZEIT: 5 MINUTEN

RÜCKGEMESSENE FREMDSTOFFE: 1240mg

MICRO-S-FILTER TYP MS 100 OHNE STOFFÜBERZUG
ÖLUMLAUFZEIT: 5 MINUTEN 30 MINUTEN
RÜCKGEMESSENE FREMDSTOFFE: 480mg 635mg

MICRO-S-FILTER TYP MS 25 OHNE STOFFÜBERZUG
ÖLUMLAUFZEIT: 5 MINUTEN 30 MINUTEN
RÜCKGEMESSENE FREMDSTOFFE: 275mg 440mg

PRÜFSTANDS-INGENIEURE DES VEB ROBUR-WERKE, ZITAJ,
FÜHRTEN OBIGE VERSUCHSLÄUFE LT. PROTOKOLL VOM 12. 1. 61 DURCH.

Fe_2O_3	FERRIOXYD 3-WERTIG	68,5 %
FeO	FERROOXYD 2-WERTIG	9,0 "
Mn_2O_4	MANGAN-OXYD	0,45 %
SiO_2	SILIZIUM-OXYD	0,67 "
CaO	CALZIUM-OXYD	SPIUREN
Na_2O	NATRIUM-OXYD	0,58 %
SO_3	SCHWEFELSÄURE OHNE WASSER	0,82 "
Cl	CHLOR	0,38 "
	ORGANISCHE STOFFE	19,30 "

ANALYSE VOM VEB LEUNA-WERKE V. 21.9.1959
 AUS EINER HYDRAULIK-FLÜSSIGKEIT MIT HILFE EINES DURCH-
 LAUF-MAGNET-FEIN-FILTER NACH EINIGEN TAGEN ABSORBIERTE
 VERUNREINIGUNGEN.

FIRMA	CHEMAPERM (DBR)	WIRKUNGSGRAD	84-86 %
"	FALDI	"	84-86 %
"	DR. DINGLINGER (DBR)	"	89,5 %
"	PHILIPS (HOLLAND)	"	89,5 %
"	PORADOR (USA)	"	91 %
"	SOMMERMEYER (DDR)	"	98,5 %

WETTBEWERB FÜR MAGNET-FILTER-AUTOMATEN
 BEI KLÖCKNER-HUMBOLD-DEUTZ.

FILTERSTEINE IN DER MODERNEN INDUSTRIE

H. Conrad
Schumacher'sche Fabrik
Bietigheim/W., Bundesrepublik Deutschland

Dieser Vortrag soll sich mit dem Gebiet der Filtration befassen und hier wieder insbesondere mit den sogenannten Filtersteinen, d.h. porösen keramischen Filtermedien.

In einem älteren Lehrbuch der chemischen Technik wird der Filterstein als eine steinartige, also starre poröse Masse definiert, die durch einen keramischen Prozess zustande kommt. Diese Definition dürfte den heutigen Anforderungen an ein poröses keramisches Medium nicht mehr genügen, bei dem die Pore zu einem ganz bestimmten Werkzeug geworden ist. Das Ziel ist hier ein möglichst grosses Volumen an durchgehenden Poren bei einer Begrenzung der sogenannten "grössten Pore" auf einen vorbestimmten Maximalwert. Ausserdem sollen möglichst viele Poren in einem gewissen, ebenfalls vorbestimmten Grössenbereich liegen. Weitere Forderungen, die an poröse keramische Medien gestellt werden, sind möglichst grosse mechanische Festigkeit und Beständigkeit in chemischer und thermischer Hinsicht für den beabsichtigten Verwendungszweck. Auch müssen diese Medien für gewisse Verwendungszwecke, insbesondere in der chemischen Industrie, frei von bestimmten Beimengungen sein, die z.B. bei einer Filtration in Lösung übergehen könnten.

Die Filtrationstechnik ist heute zu einem der weitverbreitetsten und wichtigsten Verfahren in der modernen Industrie geworden. Der grösste Teil der industriellen Erzeugnisse ist heute an irgendeiner Stelle im Produktionsablauf direkt oder indirekt von einer Filtration abhängig, um Qualität

oder Eigenschaften zu verbessern oder den Verschleiss an Maschinen und Werkzeugen zu verringern.

Die Filtration als mechanische Trennungsmethode in der Verfahrenstechnik muss heute unterteilt werden in:

1. Trennung von flüssiger und fester Phase
2. Trennung von gasförmiger und fester Phase
3. Trennung von gasförmiger und flüssiger Phase
4. Trennung von zwei flüssigen Phasen.

Als Beispiel für die Trennung von flüssiger und fester Phase kann jede Trübe dienen. Eine Trennung von gasförmiger und fester Phase ist z.B. die Filtration von Leuchtgas, wo Staub aus dem Gas ausgeschieden wird. Ein typisches Beispiel für die Trennung der Phasen gasförmig und flüssig ist die Tröpfchen- und Nebelabscheidung aus Druckluft. Für die Trennung von zwei flüssigen Phasen kann schliesslich die Abscheidung von Trichloräthylen aus Wasser mittels poröser Medien angeführt werden.

Als Untergruppen der genannten vier Filtrationsarten könnte man noch die Sterilfiltration von Flüssigkeiten und Gasen nennen, da ihnen eine besondere Problematik innewohnt, die ganz spezifische Anforderungen an das poröse keramische Medium stellt.

Ausser diesen filtrationstechnischen Anwendungsgebieten im eigentlichen Sinn des Wortes Filtration als Trennungsvorgang - haben die porösen keramischen Medien jedoch weitere und wichtige Verwendungsmöglichkeiten gefunden.

Da wäre zunächst die Dispergierung zu nennen. Poröse keramische Medien können mit bestem Erfolg zur Verteilung von Gasen in Flüssigkeiten und auch zur Verteilung von Gasen in pulverförmigen Stoffen dienen. Das erstgenannte Verfahren findet Anwendung für Zwecke der Absorption, der Homogenisierung, der Oxydation, der Reduktion, der Schaumerzeugung - um nur einige Beispiele zu erwähnen - und vergessen wir nicht eines der wichtigsten Anwendungsgebiete, die Belüftung von Abwasser bei dem Belebtschlammverfahren der biologischen Abwasserreinigung.

Die Verteilung von Gasen in pulverförmigen Gütern als technisches Hilfsmittel ist schon seit langem bekannt - es findet jedoch heute in immer zunehmendem Masse Verwendung. Der durch dieses Verfahren

erzielte Vorteil liegt darin, dass ein pulverförmiges Gut, in das durch einen Filterstein Luft eingeblasen wird, durch Kompensation der Schwerkraft den Zusammenhang verliert, aufgelockert wird und zu wirbeln beginnt. In diesem Zustand verhält sich das Pulver wie eine Flüssigkeit und kann in einem um wenige Grade geneigten Bett abfließen. Das Wirbelschichtverfahren kann zur Durchführung chemischer Reaktionen, zur Trocknung und für andere Zwecke verwendet werden, eines der wichtigsten Anwendungsgebiete ist jedoch die Auflockerung von Pulvern (und die Auflockerung von Pulvern) und die sogenannte pneumatische Förderung, wie sie z.B. in der Zementindustrie weitverbreitet ist.

Ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet sind keramische Diaphragmen in Form von Platten, Zylindern oder Kästen. Sie finden bei vielen elektrochemischen Prozessen Verwendung. Von einem guten keramischen Diaphragma fordert man eine gute Trennwirkung zwischen den Elektrodenräumen, einen geringen elektrischen Widerstand und gute Beständigkeit gegen alle praktisch in Frage kommenden Säuren. Wichtig ist auch, dass in der keramischen Masse keine säurelöslichen Bestandteile vorhanden sind, die katalytisch in Wirkung treten könnten. Solche keramische Diaphragmen werden unter anderem bei der elektrolytischen Oxydation oder Reduktion, bei der Chromsäureherstellung und -regenerierung und auch bei der Herstellung von Persalzen verwendet.

Weiterhin sind noch poröse keramische Medien in Splitterform oder als Kleinkörper zu nennen, die als Füllmasse für Waschtürme, Absorptionstürme etc., als Tröpfchen- und Nebelabscheider oder als Kontaktträger bei katalytischen Verfahren dienen. Auch hier kommt es wieder darauf an, dass die Masse hochporös ist, um eine möglichst grosse wirksame Oberfläche zu haben, dass sie frei von fremden Beimischungen und in chemischer Hinsicht beständig und nach Möglichkeit auch regenerierbar ist.

Auch als Tragplatten, Rückspülböden und sogenannte Filterdüsen haben poröse keramische Platten ein vielseitiges Anwendungsgebiet gefunden. Als Tragplatten z.B. für Austauschmassen in Ionenaustauschern und in Adsorbentien für Aktivkohle und Silikagel. Als Filterdüsen z.B. in Sandfiltern.

In physikalischer Hinsicht ist ein Filterstein zunächst durch die Porenweite und das Porenvolumen charakterisiert, und des weiteren durch seine mechanische Festigkeit.

Das Porenvolumen, genauer ausgedrückt das Gesamtporenvolumen eines Filtersteins, ist der Quotient des Volumens aller kapillaren Hohlräume durch das äussere Gesamtvolumen des porösen Materials. Es wird meist in Prozenten des äusseren Gesamtvolumens des porösen Materials ausgedrückt, zahlenmässig also mit dem hundertfachen Wert des obigen Quotienten angegeben. Dieses Gesamtporenvolumen wird in der englischen Terminologie als "apparent porosity" bezeichnet, in der deutschen Sprache auch einfach als "Porosität".

Dieses Gesamtporenvolumen kann für die Zwecke der Filtrationstechnik jedoch keine brauchbare Zahl sein, denn in der Wirklichkeit sind im Filterstein einerseits vereinzelt Sackgassen vorhanden und andererseits durchdringen sich die Poren gegenseitig. Die Durchdringungsräume stehen zusätzlich für den Materietransport zur Verfügung, während die Sackgassen und geschlossenen Poren für den Materietransport verloren gehen.

Das für die Filtration tatsächlich zur Verfügung stehende Porenvolumen bezeichnet man deshalb zur Unterscheidung als "effektives Porenvolumen" und nur dieses Volumen aus durchgehenden Poren ist für die technische Verwendbarkeit eines Filtersteins von Interesse. Es gibt heute Filtersteine mit einem effektiven Porenvolumen bis etwa 53 %.

Das zweite grundlegende Charakteristikum in physikalischer Hinsicht ist die Porenweite oder der Porendurchmesser. In jedem porösen keramischen Körper treten Porendurchmesser von Null bis zu einem bestimmten Maximalwert auf. Die grösste vorhandene Pore wird auch als "erste Pore" bezeichnet. Sie ist entscheidend für die Frage, ob durch den Filterstein noch Teilchen einer bestimmten Grösse hindurchgehen oder nicht. Der Durchmesser des überwiegenden Teils der Poren wird als "mittlere Pore" oder "mittlerer Porendurchmesser" bezeichnet und ist für die filtrationstechnische Beurteilung eines porösen Steines der zweite wichtige Faktor.

Ogleich eben gesagt wurde, dass der Durchmesser der grössten Pore dafür entscheidend ist, welche Teilchengrössen noch durch den Filterstein hindurchgehen können, soll das nicht heissen, dass die Pore unbedingt kleiner sein muss als das Teilchen, welches sie zurückhalten soll. Da die Poren verästelt, gewunden und geknickt

sind, werden, wie die Erfahrung zeigt, Teilchen von Poren zurückgehalten, deren Durchmesser deutlich kleiner ist als der der Poren. Es handelt sich hier um den sogenannten Brückeneffekt, und auch Adsorption und elektrische Aufladung spielen in diesem Zusammenhang eine Rolle.

Die Porendurchmesser werden in den meisten Fällen heute nach dem sogenannten Blasendruckverfahren von Bechhold gemessen. Es handelt sich dabei um eine Messung des Druckes, der erforderlich ist, um eine Flüssigkeit mit bekannter Oberflächenspannung aus Poren durch Luft zu verdrängen. Die Porenweite wird dann mit Hilfe einer mathematischen Formel errechnet. Da hierbei die Poren als kreisrunde Kapillaren angenommen werden, weist diese Methode wohl gewisse Mängel auf, aber wegen ihrer Einfachheit und der Schnelligkeit, mit der sie durchgeführt werden kann, hat sie sich für Schnellbestimmungen allgemein durchgesetzt.

Das effektive Porenvolumen kann leicht durch Fränken des porösen Körpers mit einer Flüssigkeit bekannter Dichte gemessen werden.

Aus den Porendurchmessern und dem effektiven Porenvolumen ergibt sich ein weiteres Charakteristikum jedes Filtersteines, und zwar die Durchlässigkeit für Flüssigkeiten oder Gase und der dabei auftretende Druckverlust. Dies ist für die Praxis sehr wichtig, insbesondere wenn es sich nicht um eine eigentliche Filtration, sondern um Zerteilung von Gasen in Flüssigkeiten oder Pulvern handelt. Diese Durchlässigkeit bei einem bestimmten Druckverlust wird in der angelsächsischen Terminologie als "permeability" bezeichnet. Es existiert bisher keine allgemein gültige Norm, nach der man zum Beispiel diesen Zusammenhang mit einer einfachen Zahl ausdrücken könnte.

Für die praktische Verwendung spielt noch die mechanische Festigkeit der Filtersteine eine grosse Rolle. Diese Festigkeit ist bei den verschiedenen Filtersteinarten verschieden und wird durch Biegeversuche ermittelt. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass Filtersteine auf Zug nicht so hoch wie auf Biegung beansprucht werden dürfen, und man kann die Faustformel gelten lassen, dass die Zuglast nur die Hälfte der Biegelast betragen darf. Eine Methode, die Festigkeit der Steine zu erhöhen, ist die Möglichkeit, bei gewissen Filtersteinsorten in das Gefüge Verstärkungen aus Draht oder Metallstäben einzubauen.

Ebenso wichtig ist die chemische Beständigkeit und Zusammensetzung dieser Medien für die Praxis. Es liegt auf der Hand, dass bei der

ausserordentlich grossen inneren Oberfläche eines Filtersteins jeder chemische Angriff und auch die Hydrolyse bei einem ungeeigneten Medium sehr gefährlich werden können. So hat zum Beispiel ein Stein mit einem mittleren Porendurchmesser von einigen μ etwa 5 bis 6×10^7 durchgehende Poren je cm^2 . Je nach den chemischen Eigenschaften der zu filtrierenden Flüssigkeiten oder Gase muss deshalb der geeignete Filterstein ausgewählt werden. Es stehen heute poröse keramische Medien zur Verfügung, die nur gegen Säuren oder Alkalien oder auch gleichzeitig gegen beide beständig sind. Auch wechselt je nach Filtersteinsorte die Temperaturbeständigkeit.

Wenn für einen bestimmten Filtrationsfall ein Filterapparat vorgeschlagen werden soll, so muss man wissen, wie gross die benötigte Filtrationsfläche sein muss. Um für ein bestimmtes Filtrandum bei einer gegebenen Durchflussleistung die richtige Filterfläche zu bestimmen, muss man die für dieses Filtrandum zulässige Filtrationsgeschwindigkeit kennen. Die Filtrationsgeschwindigkeit wird in m/h ausgedrückt und ist eine empirische Grösse, die nicht nur vom Medium allein, sondern auch von der Art und der Menge der auszufiltrierenden Feststoffe und von dem verwendeten Filtermedium abhängt. Wenn man die betreffende Filtrationsgeschwindigkeit nicht kennt, so muss man sie in Versuchen ermitteln oder man muss auf eine Schätzung zurückgreifen. Die benötigte Filterfläche wird dann mit Hilfe einer einfachen Formel errechnet, indem man die zu filtrierende Menge ausgedrückt in m^3/h durch die Filtrationsgeschwindigkeit ausgedrückt in m/h dividiert und als Resultat die Filterfläche ausgedrückt in m^2 erhält.

Bei jeder Filtration spielt auch noch der Druckverlust eine wichtige Rolle. Handelt es sich um reine Substanzen, die zu filtrieren sind, so ist der Druckverlust abhängig von der Porenweite, dem Porenvolumen, von der Wandstärke des Filtersteins und von der Viskosität des Filtrandums. Wenn für einen Filterstein Druckverlustwerte bei verschiedenen Durchsatzleistungen in Form von Kurven oder Tabellen angegeben werden, so beziehen sich diese Werte immer auf ein reines Medium, meistens auf reines Wasser oder reine Luft. Es handelt sich hier also um rein theoretische Werte, denn niemand wird auf den Gedanken kommen,

reines Wasser oder reine Luft zu filtrieren. In der filtrationstechnischen Praxis, wo wirklich etwas ausfiltriert werden soll, tritt als wichtigste Grösse, die den Druckverlust bestimmt, der Rückstand in Funktion, wobei wiederum die Menge und die physikalische Beschaffenheit desselben wichtige Grössen sind.

Was die Standzeit eines Filters, das heisst die Länge eines Filtrationszyklus betrifft, so gibt es hier zwei grundsätzliche Möglichkeiten. In einem Fall wird der Filtrationszyklus von der Stärke des Filterkuchens bestimmt, im anderen von dem Anstieg des Druckverlustes. Das erstere trifft zu, wenn viele Rückstände auszufiltrieren sind, das letztere, wenn nur eine geringe Rückstandsmenge vorhanden ist. Da bei Kerzenfiltern, das heisst bei Filterapparaten mit senkrecht angeordneten porösen keramischen Körpern in Form von Zylindern, zwischen den einzelnen Zylindern ein bestimmter Abstand vorhanden ist, darf der Filterkuchen auf diesen Zylindern auch nur eine gewisse Dicke erreichen, um mit dem Kuchen der benachbarten Zylinder nicht zusammenzustossen. Ein solches "Zusammenwachsen" der Filterkuchen muss auf jeden Fall vermieden werden, denn sonst erfolgt unweigerlich eine Beschädigung der Filterzylinder durch Bruch. Hier wird die Länge eines Filtrationszyklus also durch die Stärke des Filterkuchens bestimmt.

In der industriellen Praxis werden die Filtersteine entweder als solche, das soll heissen ohne Zubehör, verwendet, oder sie werden - das trifft insbesondere für Filtersteine in Form von zylindrischen Hohlkörpern zu - mit anderen Werkstoffen, zum Beispiel Metall oder Kunststoff, armiert oder schliesslich sogar in Filterapparate eingebaut. Ein klassisches Beispiel für die Verwendung von nackten Steinen sind Nutschenbeläge. Hier werden Filterplatten zu einem porösen Boden zusammengefügt. Eines der wichtigsten Anwendungsgebiete für Nutschen ist die Farbstoffindustrie.

Im folgenden sollen einige wichtige und typische Anwendungsgebiete von porösen keramischen Medien mit und ohne dazugehörige Apparate kurz skizziert werden.

Da wäre zunächst die Flüssigkeitsfiltration im allgemeinen zu nennen. Es ist unmöglich, hier auch nur annähernd alle Flüssigkeiten aufzuzählen, für die keramische Filtermedien geeignet sind. Es kann nur erwähnt werden, dass die Skala, angefangen von Wasser über neutrale Flüssigkeiten aller Art, wie zum Beispiel Lösungen, über Säuren und alkalische Flüssigkeiten wie

zum Beispiel Natronlauge, über organische Flüssigkeiten wie Lösungsmittel, Benzin oder Benzol, über dünnflüssige Öle bis zu Schmelzen und flüssigen Metallen reicht. Auch für flüssigen Phosphor und Schwefel, für Kunststoffschmelzen und geschmolzene Wachse sind Apparate mit keramischen Filtermedien, geeignet.

Besonders gut geeignet sind auch poröse keramische Medien für die sogenannte Feinfiltration, das heisst wenn es darum geht, besonders feine Verunreinigungen zu entfernen, die nicht mehr in grossen Mengen vorhanden sind. In der englischen Terminologie wird hierfür das Wort "Polishing" gebraucht. Bei solchen Feinfiltrationen muss man oft mit einem Filterhilfsmittel arbeiten, damit die Poren des Filtersteins nicht zu schnell verstopft werden. Ein solches Filterhilfsmittel - in vielen Fällen Kieselgur - wird vor Beginn der Filtration auf den Filterstein aufgeschwemmt und erst nach erfolgter Anschwemmung beginnt man mit der eigentlichen Filtration. In manchen Fällen wird auch noch eine gewisse Menge an Filterhilfsmittel laufend während der Filtration der Trübe zugegeben. Auch bei schwierigen Filtrationen, insbesondere wenn die Rückstände etwas schleimiger Natur sind, wird mit einem Filterhilfsmittel gearbeitet, um den Filterkuchen aufzulockern und längere Laufzeiten zu erhalten. Es ist das sogenannte Anschwemmverfahren, in der englischen Terminologie als "precoating" bekannt.

Für die Filtration von Wasser bieten sich viele Möglichkeiten. So kann man zum Beispiel Fabrikwasser, Kühlwasser, Leitungswasser, Schwimmbadwasser und Trinkwasser mit bestem Erfolg mit poröser Keramik filtrieren.

Ein besonderes Gebiet stellt die keimfreie Filtration von Trinkwasser dar. Das hier zur Anwendung kommende Prinzip beruht darauf, dass Filtersteine von einer bestimmten Beschaffenheit und Porenweite in der Lage sind, Krankheitskeime und alle für den Menschen schädlichen Bakterien auf ihrer Oberfläche zurückzuhalten. Es ist also keine absolut sterile Filtration wie man sie zum Beispiel für Injektionslösungen benötigt, sondern der Filtrationseffekt ist spezifisch auf die Entkeimung von Trinkwasser gerichtet.

Für die Sterilfiltration von Flüssigkeiten in der pharmazeutischen Industrie, zum Beispiel für Injektionslösungen, gibt es ebenfalls Filtersteinsorten mit Porenweiten in der Grössenordnung von etwa 1 μ . Auch Luft oder andere Gase können mit Hilfe poröser keramischer Medien steril filtriert werden.

Industriell sehr wichtige und grosse Anwendungsgebiete der porösen keramischen Medien bei Flüssigkeitsfiltrationen sind die Filtrationen in der Zuckerindustrie und in der Glukose- und Dextroseindustrie.

Weitere wichtige Anwendungsgebiete auf dem Filtrationsgebiet sind die Filtrationen von Gasen und Druckluft.

Ein hervorragendes Beispiel ist die Verwendung der keramischen Filter bei der Filtration von Leuchtgas in Gaswerken und bei Gasfernleitungen, um den Staub und Rost aus den Leitungen zu entfernen und insbesondere die empfindlichen Regler zu schützen.

Ein weiteres Gebiet ist die Filtration von Luft oder von Luft-Ammoniak-Gemisch vor den Kontakten bei der Salpetersäureherstellung.

Ein besonderes Anwendungsgebiet finden poröse keramische Medien bei der Druckluftfiltration als Öl- und Wasserabscheider. Es lässt sich hier eine Abscheidung bis 99,7 % erreichen.

Einen ähnlichen Verwendungszweck zur Tröpfchenabscheidung finden Filtersteine in der Schwefelsäureindustrie. Hier wird das Gemisch aus SO_2 und Luft nach den Trockentürmen und vor den Kontakten von mitgerissenen Schwefelsäuretröpfchen befreit.

Für die Entnebelung von Abgasen aus Schwefelsäurefabriken sind poröse keramische Medien ebenfalls sehr gut geeignet.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet ist auch die Zerteilung von Gasen durch poröse keramische Medien.

Ein solches Gebiet stellt die Abwasserbelüftung dar. Bei der biologischen abwasserreinigung nach dem sogenannten Belebtschlammverfahren werden Belüfter in Form von Platten oder Zylindern verwendet, und zwar in der biologischen Vorstufe, der biologischen Hauptstufe, zur Vorbelüftung und auch zur Belüftung des Abwassers in einem Ölfänger, damit die emulgierten Ölreste durch die Luftblasen an die Wasseroberfläche getragen werden.

Ein weiteres sehr wichtiges Gebiet ist die pneumatische Förderung und die Auflockerung von Silos, zum Beispiel in der Zementindustrie und der Kunststoffindustrie. Hierzu gehört auch das sogenannte "Wirbelschichtverfahren", das auch in zunehmendem Masse in der chemischen Industrie Anwendung findet.

Die hier gemachten Ausführungen konnten naturgemäss weder das weite und komplizierte Gebiet der Filtration in theoretischer Betrachtung noch die praktische Seite der Filtrationstechnik und insbesondere die unzählbaren praktischen Anwendungsmöglichkeiten der porösen Keramik auch nur in annähernd erschöpfender Weise behandeln, sie sollten jedoch dazu dienen, einen kurzen Überblick über die heutige Rolle des Filtersteins in der Industrie zu geben.

I. Internationaler Kongress für Chemie-Ingenieurwesen,
Chemie-Apparatebau und Automatisierung C H I S A 1962.
Brno - ČSSR

DIE WÄHREND DER DRUCKFILTRATION VORKOMMENDEN ANOMALIEN
UND IHR EFFEKT AUF DIE FILTERPRESSEKONSTRUKTION

M. Bolek

Wissenschaftliches Kohlenforschungsinstitut
Ostrava, ČSSR

Eine Reihe von Autoren hat sich bereits mit der Analyse der Bedingungen des Filterpressebetriebes zwecks Bestimmung der maximalen Leistung bzw. der minimalen Produktionskosten befasst, um nach diesen Werten die optimalen Parameter der Maschine und des technologischen Prozesses feststellen zu können. Da die bisherigen Arbeiten auf diesem Gebiete nicht erschöpfend waren, verfolgt die vorliegende Arbeit den Zweck, die elementaren Parameter des technologischen Prozesses und der maschinellen Einrichtung auf Grundlage der neuesten Erkenntnisse hinsichtlich des Filtrationsprozesses in einem System von Gleichungen zu verbinden, mit deren Zuhilfenahme es möglich wäre einerseits die optimalen Werte sämtlicher Parameter mühelos zu bestimmen und andererseits den Filtrationsprozess unter dem vorteilhaftesten Regime durchzuführen. Als das

günstigste ökonomische Vergleichskriterium der Varianten der Prozessbedingungen erscheinen die auf die Erzeugungseinheit umgerechneten Selbstkosten.

Die Selbstkosten der diskontinuierlichen Druckfiltration können in zwei Gruppen aufgeteilt werden. In der ersten Gruppe sind jene Kosten eingereiht, die unter allen Bedingungen unveränderlich bleiben bzw. auf deren Vereränderlichkeit keine Rücksicht genommen werden muss. Dies sind: Erhaltungskosten, Generalreparaturen, verschiedene Regiezuschläge, usw. In die zweite Gruppe gehören jene Kosten, die sich zufolge Abänderung der Bedingungen des technologischen Prozesses oder der Maschinenparameter ändern. Dies sind Abschreibungen und Energiekosten. Eine wesentliche Rolle spielen die Löhne. Ueber ihre Einreihung in die erste oder in die zweite Gruppe der Selbstkosten entscheidet das technische Niveau der Filterpresse. In der gegenwärtigen Zeit kann beobachtet werden, dass zahlreiche Firmen bereits automatische Filterpressen liefern oder entwickeln, bei denen die mühsame manuelle Arbeit entfällt und eine einzige Person, die sich lediglich auf die Kontrolle beschränkt, eine ganze Reihe solcher Maschinen bedienen kann. Bei solchen Filterpressen bleiben die Löhne konstant und können demzufolge in die erste Gruppe eingereiht werden. Dies bedeutet, dass man bei einer optimalen Gestaltung der diskontinuierlichen Druckfiltration zwecks Vereinfachung der Berechnungen nur die Abschreibungen und die Energiekosten zu erwägen braucht.

Wird von diesem Standpunkte ausgegangen, so ist die Höhe der Selbstkosten durch die Beziehung

$$K = O + E \cdot \frac{E1 \cdot o}{E1 \cdot ER} + \frac{EV \cdot \gamma \cdot s \cdot h \cdot c}{102 \cdot \eta \cdot ER}$$

gegeben. In dieser Beziehung bedeutet: O - Abschreibungen, E - Energiekosten, $E1$ - Gesamtwert der Filterpressen, o - Abschreibungsfaktor, $E1'$ - Gesamtbetriebszeit der Einrichtung pro Jahr, ER - Gesamtdurchsatzleistung ausgedrückt in der Kuchenmenge, EV - Gesamtdurchsatzleistung ausgedrückt in der Suspensionsmenge, γ - spezifisches Gewicht der filtrierte Suspension,

- Förderhöhe der Pumpe, c - Preis der elektrischen Energie, und η - Pumpenwirkungsgrad.

In der Formel /1/ sind die Werte $o, Et, EV, \eta_s, \eta, c$, für die gegebenen Verhältnisse konstant. Der Wert hängt direkt von dem Druckgefälle $\Delta P = 0,1h$ ab.

Die Gesamtdurchsatzleistung ist das Produkt der Filterpressenanzahl und der Durchsatzleistung einer Filterpresse:

$$EQ = m Q \quad 2$$

Analog ist

$$E1 = m1 \quad 3$$

Zwecks Bestimmung minimaler Selbstkosten muss daher zuerst die Leistung, der Preis und die Anzahl der Filterpressen unter der Voraussetzung eines konstanten Druckgefälles erwogen werden.

Der Gesamtzusammenhang der Abschreibungen mit den Energiekosten wird sodann nach Feststellung der Beziehung für minimale Abschreibungen gelöst werden können.

Für die Filterpressenleistung wurden bereits die

$$\text{Beziehungen } Q = \frac{LF\eta'}{2(c' + t')} \quad 4$$

$$c' = t \quad 5$$

$$\eta' = (1 - E) \eta \quad 6$$

$$c = \frac{(1 - E)^2 \eta^2 L \mu}{8 \Delta P x} \quad 7$$

abgeleitet, die für den unkompressiblen Kuchen, für die Filtration unter konstantem Druck bei Nichtbeachtung des Widerstandes des Filtertuches gelten und in denen L - Kammerdicke der Filterpresse, F - Gesamtfiltrierfläche, η' - Volumengewicht des Kuchens, η - spezifisches Gewicht der Festkörper, E - Porosität des Kuchens, μ - Viskosität des Filtrats, c' - Filtrierkonstante, α - spezifischer Widerstand des Kuchens, t - Filtrationszeit, t' - Zeitdauer der Hilfsoperation, x - Gewichtsverhältnis der festen Phase zum Volumen des durchgeflossenen Filtrats ist.

Die Gleichung /4/ für die Filterpresseleistung kann jedoch detailliert werden, denn wenn S der Querschnitt einer Kammer und n die Kammeranzahl ist, dann wird die Gesamtfiltrierfläche

$$F = 2Sn \quad 8$$

Auch die Zeitdauer den Hilfsoperationen kann genauer spezifiziert werden

$$t' = t_1 + t_2 n \quad 9$$

In die Zeit t_1 wird die Zeit für die Lösung des hydraulischen Verschlusses, für das Schliessen des hydraulischen Verschlusses, für das Füllen der Filterpresse, als auch sämtliche andere Hilfszeiten eingerechnet. Die Zeit t_2 drückt die zur Verschiebung einer Platte, bzw. die zum Oeffnen und zur Entleerung einer Kammer erforderliche Zeit aus.

Sodann ist die Filterpresseleistung durch die Beziehung

$$Q = \frac{15n \gamma'}{2c + t_1 + t_2 n} \quad 10$$

gegeben.

Die Gleichung /10/ wurde unter der Voraussetzung abgeleitet, dass die Trennung der festen Phase von der flüssigen Phase lediglich gemäss der Gesetzmässigkeit der Filtration erfolgt. Dies bedeutet, dass die bekannte Beziehung zwischen der Filtratsmenge und der Zeit t

$$V^2 = Ct \quad 11$$

gültig ist. Diese Beziehung kann durch Derivation als

$$\frac{dV}{dV} = \frac{2}{C} V \quad 12$$

ausgedrückt werden, wobei C die Filtrationskonstante ist. Die graphische Darstellung der Gleichung 12 ist die bekante Gerade, die durch den Anfangspunkt hindurchgeht und deren Richtungsfaktor $2/C$ ist. Eine Reihe praktischer Prüfungen hat jedoch erwiesen [4], dass die Trennung der festen Phase von der flüssigen Phase nicht nur in der Periode der eigentlichen Filtration, wo die Festkörper allmählich die Filterpressekammer ausfüllen, sondern auch in einer weiteren Zeitperiode, wenn jener Prozess verläuft, den man als Kompression den Kuchens bezeichnet, stattfindet. Diese Kuchenkompression beruht im Zusammenpressen der Festkörper sowie auch der Poren, die mit Flüssigkeit ausgefüllt sind. Aus der Filterpresse fliesst nicht nur die aus den Poren ausgedrückte Flüssigkeit, sondern es findet auch ein Ausfüllen des infolge der Kompression des ursprünglichen Kuchens entstandenen Raumes durch frische Suspension statt. Die festen

Teilchen dieser Suspension und ein Teil des flüssigen Anteiles komprimierenden Kuchen und der Rest des flüssigen Anteiles fließt aus der Filterpresse heraus. Es handelt sich hier um einen ziemlich komplizierten Prozess, der dem aus der Bodenmechanik bekannten Konsolidierungsprozess ähnlich ist. Einige konkrete Angaben über den Verlauf der Funktion $dt/dV = f(V)$ sind in der Abbildung 1 veranschaulicht. Der erste Teil dieser Funktion ist eine Gerade mit dem Richtungsfaktor $2/C$ und falls der Widerstand des Filtertuches gleich Null ist, was der häufigste Fall ist, geht die Gerade durch den Anfangspunkt hindurch. Im zweiten Teile übergeht die Funktion dt/dV entweder direkt oder nach und nach in einen Bogen in eine andere Gerade deren Richtungsfaktor einigemal grösser als der Richtungsfaktor der ursprünglichen Gerade ist. Der durch diese Gerade auf der ordinatenachse herausgeschmittene Abschnitt hat einen negativen Wert.

Der Anomalie im Verlaufe der Entwässerung im Bereiche der Kuchenkompression muss volle Aufmerksamkeit nicht nur vom Standpunkte der durchgeflossenen Filtratsmenge, sondern auch vom Standpunkte der Leistung und des Flüssigkeitsgehaltes im Kuchen gewidmet werden. Durch die Kuchenkompression kann der Wassergehalt im Kuchen teilweise herabgesetzt werden, aber die Filterpresseleistung wird dadurch wesentlich reduziert.

Da die Filtriergeschwindigkeit im Bereiche der Kompression wesentlich abnimmt, ist es scheinbar zwecklos den Entwässerungsprozess in diesem Bereiche verlaufen zu lassen, weil bereits am Ende des Bereiches der eigentlichen Filtration ein fester, transportfähiger Kuchen erzielt wird und da infolge der Prozessverlängerung unter weniger günstigen Bedingungen im Kompressionsbereiche die Filterpresseleistung verringert wird. Dieser Standpunkt muss dort geltend gemacht werden, wo es sich um die Entwässerung eines Materials

handelt, welches ein Abfallprodukt darstellt, bezw. dort, wo zum Hauptprodukt der Filtration das Filtrat und nicht der Kuchen wird. Handelt es sich jedoch um die Filtration eines Konzentrats, welches im weiteren Verlaufe durch thermische Trocknung entwässert werden soll, muss wohl erwogen werden, ob es selbst auf Kosten der Herabsetzung der Filterpresseleistung nicht vorteilhafter wäre die Reduktion des Wassergehaltes mittelverlängerter Entwässerung im Bereiche der Kompression zu erreichen und somit auch eine Verringerung der Trocknungskosten zu erzielen. Darüber muss auf Grund einer individuellen technisch-ökonomischen Analyse, die aus den entsprechenden Filtrationsprüfungen auszugehen hat, entschieden werden. Eine weitere interessante Erscheinung wurde anlässlich der Druckfiltration von Zuckersäften wahrgenommen. Im Abhängigkeitsverlaufe $dt/dV = f(V)$ wurde vor dem Bereiche der Filtration und der Kompression ein weiterer Abschnitt, in dem ein bedeutender Abfall des Wertes dt/dV charakteristisch ist, festgestellt. Dies bedeutet, dass beim Beginn der Filtration ein ziemlich bedeutender Widerstand des Filtertuches zum Vorschein kommt, und dies grundsätzlich ohne Rücksicht auf das Verstopfungsmass des Filtertuches. Dieser Widerstand nimmt im Zeitverlaufe bis zum Nullpunkt ab und die Filtration beginnt sodann den üblichen Gesetzmässigkeiten entsprechend zu verlaufen. Die Erklärung dafür kann darin gesucht werden, dass bei der Filtration Baumwoll-Filtertücher verwendet wurden, zum Unterschiede zu den oben erwähnten Prüfungen, bei denen Silon-Filtertücher benützt wurden, und ferener darin, dass der Prozess bei höherer Temperatur des Filtrats stattgefunden hat. Eine Vergleichsmessung des Widerstandes von Geweben und Filtertüchern aus verschiedenem Material ergab, dass die Baumwolle im Vergleich zum Silon einen wesentlich höheren Widerstand aufweist. Durch die Wärmewirkung des heissen Saftes auf die Baumwolle ändert sich wahrscheinlich die Durchlässigkeit des Filtertuches und sein Widerstand wird

demzufolge herabgesetzt.

Die praktische Konsequenz dieser Anomalie beruht darin, dass die Filtration verlängert wird und zwar für den gegebenen Fall je nach der Verstopfung der Filtertücher - um 10 bis 35 Minuten. Würde man Filtertücher aus einem Gewebe mit niedrigem Widerstand, bei dem sich die Wärmewirkung nicht äussert, verwenden, könnte wohl um diese Zeit die Filtration abgekürzt und dadurch die Leistung gesteigert werden. Was die Kompression des Kuchens anbelangt, müsste man dies weiter feststellen, wie sich dieser Prozess auf die Durchwaschgeschwindigkeit des Kuchens auswirkt.

Aus den Angaben über das Auftreten von Anomalien im Verlaufe der diskontinuierlichen Druckfiltration geht hervor, dass diese Anomalien in der Gleichung /10/ für die Filterpresseleistung zum Ausdruck gebracht werden müssen. Dies kann einfach durch die entsprechende Verlängerung der Zeit t um den empirisch festgestellten Wert durchgeführt werden. Die exakte Lösung dieses Problems bildet den Gegenstand einer weiteren Forschung und wurde bis nun nicht beendet.

An die Erwägungen über die einzelnen Faktoren, welche die Leistung der Filtration unter der Voraussetzung einer konstanten Suspension und eines konstanten Arbeitsdruckes beeinflussen, kann nun die Analyse des Filterpressepreises auf Grund des Filterpressegewichtes angeknüpft werden. Das Gewicht der Filterpresse setzt sich zusammen aus dem Gewichte G_1 jener Bestandteile, die für den gegebenen Querschnitt der Kammer unter allen Umständen unveränderlich bleiben, und aus dem Gewichte G_2 der Platten oder Rahmen, multipliziert durch die Anzahl von Rahmen. Das Gewicht des Rahmens und das Gewicht der seiner Mächtigkeit entsprechenden weiteren Teile - wie Tragelemente, Schleppketten, usw. setzt sich zusammen aus dem Gewichte des unveränderlichen mittleren Teiles g_1 und aus dem Gewichte des veränderlichen Randteiles $g_2 l$, wo g_2 das Gewicht der Längeneinheit des Rahmenradteiles ist. Dann ist das Gesamtgewicht der Maschine durch die Gleichung

$$G = G_1 + G_2 n = G_1 + (g_1 + g_2 l) n$$

- 7 -

14

85

gegeben. Vom Standpunkte der Kalkulation muss damit gerechnet werden, dass die Teile im Gewichte G_1 , einen höheren Gewichtspreiskoeffizient k_1 , haben werden, als die Teile im Gewichte G_2 , deren Gewichtspreiskoeffizient k_2 , niedriger sein wird.

Der Filterpressepreis ist sodann durch die Gleichung,

$$I = k_1 G_1 + k_2 (g_1 + g_2 l) n$$
 ausgedrückt. 15

Nunmehr können aus den Gleichungen 2,3,10 und 15 die Abschreibungen eingesetzt und folgendermassen ausgedrückt werden:

$$0 = \frac{e}{Et} \frac{[k_1 G_1 + k_2 (g_1 + g_2 l) n] (l^2 c + t_1 + t_2 n)}{15 n^2}$$
 16

In den Gleichungen 10, 15 und 16 erscheinen zwei grundsätzliche Konstruktionsparameter, die für die Filterpresse typisch sind, und zwar: die Kammerdicke l und die Kammeranzahl n . Wird die Gleichung 14 im Koordinatensystem $G-l$ für verschiedene n - Werte dargestellt, erhält man eine Schar von Geraden, die nicht durch den Anfangspunkt durchlaufen. Dasselbe gilt für die Funktion $I=f(l)$, siehe Abbildung 3. Die Beziehung zwischen der Kuchendicke und der Kammeranzahl kann hier nicht bewiesen werden. Wird jedoch die Gleichung 10 im Koordinatensystem $Q-l$ für verschiedene n - Werte dargestellt, erhält man ein Kurvensystem gleichen Types, siehe Abbildung 4. Jede dieser Kurven hat ein Maximum und durch Verbindung dieser Maximem erhält man die Abhängigkeit $Q=f(l_{opt})$ für optimale Bedingungen. Um die optimalen Bedingungen mathematisch ausdrücken zu können, muss die Gleichung 10 deriviert werden. Aus der Bedingung, dass Maximum der Funktion, falls ihre erste Derivation gleich Null ist, bedinnt, wird festgestellt, dass Aus der Gleichung 17 geht auch die Abhängigkeit der Kammeranzahl von der Kuchendicke hervor:

$$n = \frac{l^2 c - t_1}{t_2}$$
 18

Unter Verwendung der Gleichung 16 wird die Gleichung folgende Form annehmen:

$$0 = \frac{e}{Et} \frac{[k_1 G_1 + k_2 (g_1 + g_2 l) \frac{l^2 c - t_1}{t_2}] 2 l c t_2}{15 n^2 (l^2 c - t_1)}$$
 19

84

Zur graphischen Darstellung der Gleichung 19 wird die Kurve $Q = f(l)$, siehe Abbildung 5. Das Minimum dieser Kurve kann durch mathematische Derivation der Gleichung oder mittels der mathematisch-graphischen Methode bestimmt werden. Analog kann auch die Anzahl der Filterpressen bestimmt werden, wie in der Abbildung 5 ebenfalls dargestellt ist.

Sämtliche bisherige theoretische Erwägungen gingen aus der Voraussetzung hervor, dass die Einrichtung mit unveränderlichem Druckgefälle arbeitet und dass das filtrierte Material nicht kompressibel ist. Wie jedoch in der Einleitung bereits angeführt wurde, ist wohl eine Auswertung notwendig; ob das benützte Druckgefälle das zweckmässigste ist, da mit der Druckerhöhung zwar die Leistung steigt, wodurch die notwendigen Investitionen vermindert werden, aber es wird auch der Energieverbrauch höher. Gleichzeitig muss auch damit gerechnet werden, dass es sich in der Praxis fast immer um ein Material handelt, welches zumindest leicht kompressibel ist. Für ein kompressibles Material gilt die bekannte Formel

$$d = a \Delta P^s$$

20

in der a - spezifischer Widerstand beim Einheitsdrucke und s - Kompressibilitätsfaktor ist. Sodann ändert sich die Konstante c in der Formel 7 folgendermassen

$$c = \frac{(1-\epsilon)^2 \eta^2 a \mu}{8 \Delta P^{1-s} x}$$

21

Dies bedeutet folgendes: unter der Voraussetzung, dass die Werte ϵ , η , a , μ unveränderlich sind, gilt, dass sich die Konstante c bei abnehmender Kompressibilität und beim steigenden Druck vermindert, wodurch die Leistung höher und die Abschreibungen niedriger werden.

Gemäss der vom P. Le Lec gegebenen Uebersicht der neuesten Erkenntnisse ergibt sich, dass die Gleichung 20 nur eine beschränkte Geltung hat. Demzufolge ist es vorläufig notwendig den Verlauf der Funktion $c = f(\Delta P, s)$ für jedes Material individuell empirisch festzustellen und auf ihrer Grundlage sämtliche in der

Gleichung 19 bzw. 7 vorkommende Werte zu bestimmen und eine Gesamtbilanz der optimalen Filtrationsbedingungen aufzustellen.

So wurde - zum Beispiel die Abhängigkeit $K=f(l)$ für verschiedene Werte zusammengestellt, /siehe Abb. 6/. Aus dieser Abhängigkeit geht hervor, dass bei gegebener Relation zwischen der Filterpresseleistung, dem Filterpressepreise und dem Preise der elektrischen Energie, und bei gegebener Kompressibilität und Filtrierbarkeit des Materials wohl vorteilhafter ist mit niedrigeren Drücken zu arbeiten, da die Leistungssteigerung zufolge des Effektes des höheren Druckes mit bedeutend höherem Energieverbrauch verbunden ist. Falls jedoch auch die Konstruktionsgründe, die auf der gegebenen Einrichtung eine kleinere Kammerdicke als - zum Beispiel - 10 mm nicht zulassen, respektiert werden müssen, wird es wohl notwendig auch einen Vergleich der Kosten bei verschiedenen Drücken und bei einer Kammerdicke $l = 10 \text{ mm}$ zu machen, siehe Abb. 7. Aus dieser Abbildung geht hervor, dass beim Respektieren der Konstruktionsgründe auf der Kurve $K = f(\Delta P; l_0)$ der Wert ΔP_{opt} erscheint.

Es ist selbstverständlich, dass sich in anderen Bedingungen auch ergeben kann, dass der optimale Druck höher als in den angegebenen Beispielen sein wird. Allgemein kann jedoch angenommen werden, dass die Tendenz der Leistungssteigerung unter dem Effekt der Druckerhöhung eine begrenzte Wirksamkeit hat, und dies umso mehr, je kompressibler das Material ist. Für jeden Fall ist es notwendig individuelle Prüfungen, nach denen die entsprechenden Materialkonstanten festgestellt werden, durchzuführen. Diese Materialkonstanten werden mit den Preis - und Betriebskonstanten in die vorgeschlagenen Formeln eingesetzt, und mittels der mathematischgraphischen Auswertung werden sodann die optimalen Werte der Kuchendicke,

der Filterpressenanzahl und ferner die entsprechende Anzahl der Filterpressekammern, die Filtrationszeit und der Betriebsdruck bestimmt.

S c h r i f t u m :

1. Bolek, M.: Beziehungen zwischen Kuchendicke und Leistung von Filterpressen, Bergbauwissenschaften 8, 1961, N. 4, S. 85 - 87
2. Bolek, M.: Beziehungen zwischen Kuchendicke und Betriebskosten von Filterpressen, Bergbauwissenschaften, 9, 1962, N. 2, S. 27 - 29
3. Bolek, M.: Výpočet optimálních konstrukčních parametrů kalolísů z hlediska minimálních investičních nákladů, Strojírnoství, 1962, N. 8, S. 597 - 602
4. Bolek, M.: Časový průběh odvodňování tlakovou filtrací, Rudy, 1962, N. 5, S. 160 - 164
5. Bolek, M.: Anomalie při diskontinuální tlakové filtraci řepné šťávy, Listy cukrovarnické 1962
6. Gaborowski, J.: Inzynieria chemiczna, PWT, Warszawa 1955
7. Ginzburg, E.G.: Ekonomika proizvodstvennykh processov v cvetnoj metalurgii, Metallurgizdat, Moskva 1961
8. Pilař, A.: Chemické inženýrství, SNTL, 1959, Praha
9. Zimmerman, O. T., Lavine, L.: Chemical engineering laboratory equipment, Industrial research service, New Hampshire, 1955
10. Le Lec P.: Variations de perméabilité des gâteaux de filtration, Génie chimique 87 /1962/, N. 3, S. 61 - 83

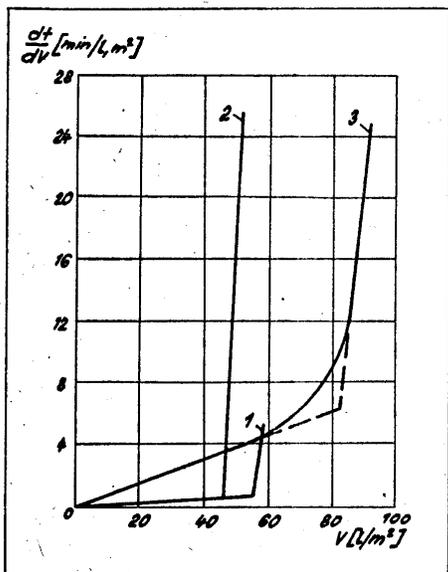


Abb. 1: Zeitverlauf der Filtration einiger Aufbereitungsprodukte: 1 - Graphit, 2 - Antimonit, 3 - Kaolin

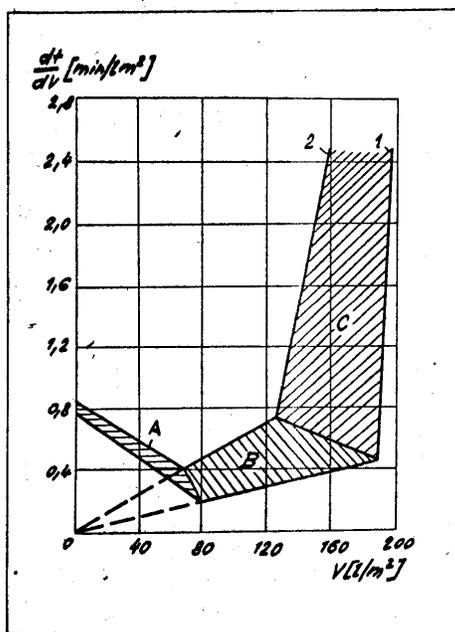


Abb. 2: Zeitverlauf der Zuckersaftfiltration.
 1 - gewaschene Filtertücher
 2 - verstopfte Filtertücher
 A - Widerstandsabfall der Filtertücher,
 B - Filtration,
 C - Kompression

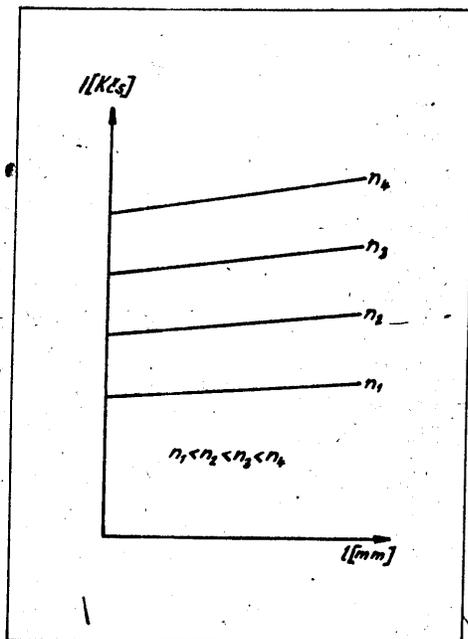


Abb. 3: Effekt der Kammerdicke l und der Kammeranzahl n auf den Filterpresspreis I

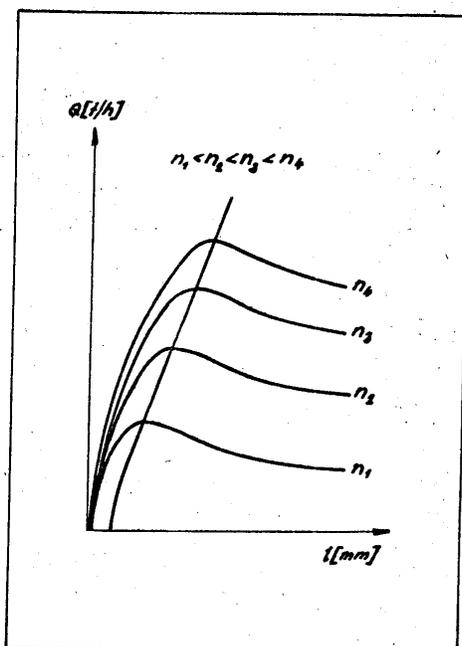


Abb. 4: Effekt der Kammerdicke l und der Kammeranzahl n auf die Filterpresseleistung Q

92

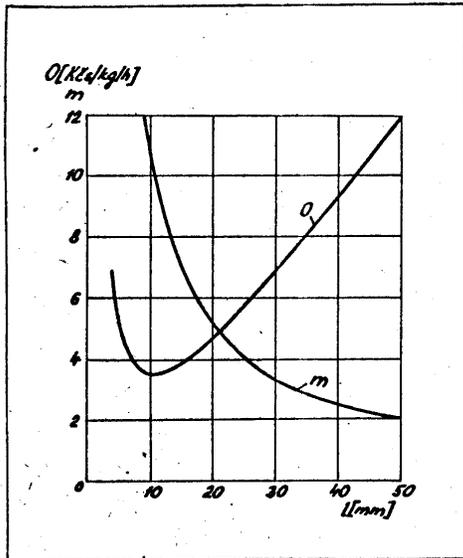


Abb. 5: Abhängigkeit der Investitionskosten per Einheit O und der Filterpressenanzahl m von der Kammerdicke l

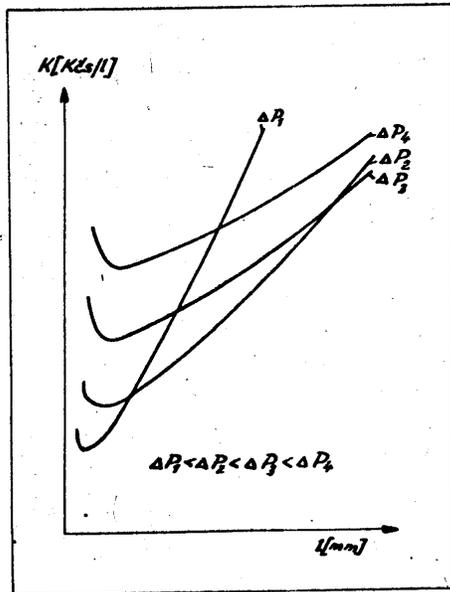


Abb. 6: Effekt des Druckgefälles ΔP und der Kammerdicke l auf die Selbstkosten K

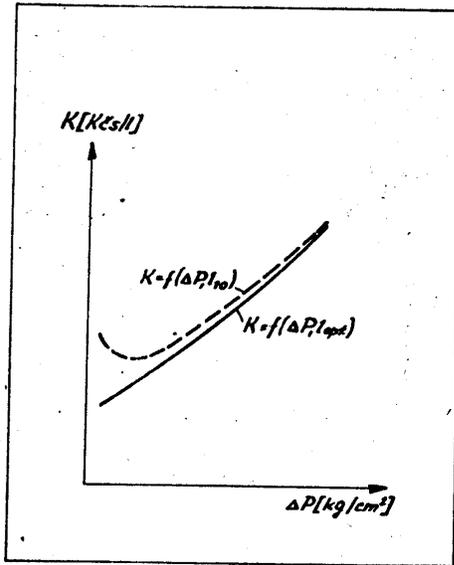


Abb. 7: Abhängigkeit der Selbstkosten der Filtration K von dem Druckgefälle ΔP

94

ENTWICKLUNGSTENDENZEN IN ELEKTRISCHEN KARBIDÖFEN

H. KOLEDA

Chemické závody W. Piecka,

Nováky, Tschechoslowakei.

1. Einleitung.

Zur Zeit errichtet man nur dreiphasige elektrische Lichtbogenöfen für Erzeugung von Calciumkarbid. Bei ihrer Konstruktion existieren zwei grundsätzliche Tendenzen:

1./ Symmetrische Öfen mit kreisförmiger Wanne und mit ~~rand~~ im Dreieck angeordneten Elektroden.

2./ Unsymmetrische Öfen mit rechteckiger Wanne und mit rechteckigen in Reihe angeordneten Elektroden.

In beiden Fällen werden nur kontinuierliche Söderbergelektroden genutzt und die Öfen werden auf je grösste Leistung 40 bis 60 MVA entworfen.

Bei dem Entwurf von einer neuen Anlage gibt sich der Projektant die Frage, welches Ofensystem zu wählen, welcher Ofen besser ist?

Kriterien für die Beurteilung sind folgende:

1./ Elektrothermischer Wirkungsgrad der Ofen, was sich durch erzielten spezifischen Stromverbrauch je Karbidtonne zeigt /unter Voraussetzung von gleichen Rohstoffen/.

2./ Notwendige Rohstoffqualität /Reinheit und granulometrische Zusammensetzung/, ebenso wie Empfindlichkeit auf Stromzuführerabsetzung während der Stromspitzen.

3./ Einfache und feste Konstruktion, einfache und leichte Beschickungsart und Bedienung, was sich durch Ofenpreis und Lohnstundenzahl je Tonne Produkt zeigt.

2. Elektrothermischer Wirkungsgrad des Ofens.

Elektrothermischer Wirkungsgrad des Ofens hängt teils von elektrischen Verluste, teils von thermischen Verluste des Ofens ab. Aus den Energiebilanzen der Ofen es ist festgestellt, dass die grössten elektrischen Verluste in den Elektroden stattfinden /bis etwa 15% der zugeführten elektrischen Energie/. Je eine Elektrode kürzer ist und bei je höher Spannung sie arbeitet, desto kleiner sind diese Verluste.

Im Gegenteil thermische Verluste sind desto kleiner, je länger die Elektrode ist, also je das Tauchen der Elektrode in der Beschickung grösser ist, d.h. bei einer niedrigeren Elektrodenspannung. Natürlich dazu tritt noch die Ofen- und Elektrodenform und ihre Kühloberfläche.

Es ist klar, was die Form betrifft, dass eine der Kugel nähernde Form vorteilhafter inst, d.h. der symmetrischen runden Ofen.

Da beide Forderungen entgegengesetzt sind, muss man einen Kompromiss zwischen ihnen wählen, was sich damit in Praxis zeigt, dass man bei einer so hohen Spannung arbeitet, bei welcher das Elektrodentauchen noch genügend ist.

Im Allgemeinen, wie es bekannt ist, man erreicht ein tiefes Elektrodentauchen bei einer hohen Elektrodenspannung teils durch Verwenden von einem weniger leitenden Kohlenstoffmaterial /Anthrazitzugabe zum Koks/, teils durch Verwenden von feinkörnigem Koks von etwa 5 bis 25 mm. Feinzeug und Staub werden abgesiebt, um der bildende Kohlenoxyd aus der Reaktionzone leichter entweichen zu können und um keine Materialausbrüche vorzukommen.

Da bietet sich die Frage, welche Ofenform bei gleichen Rohstoffe vorteilhafter ist, d.h. welche Ofenform ein tieferes Elektrodentauchen durch einen grösseren Ohmschen Beschickungswiderstand verursacht und kleineren Widerstand gegen Kohlenoxydentweichen aus der Reaktionzone bietet.

3. Ohmscher Widerstand der Ofenbeschickung.

Den Ohmschen Widerstand der Ofenbeschickung könnte man etwa genauer in konkretem Falle nur bei Hilfe von einer graphisch-numerische Methode berechnen und zwar zerlegend den ganzen Ofen auf Isothermen und Stromlinien, wenn die Widerstände der Beschickung in einzelnen Ofenzonen genauer bekannt wären.

Für eine ganz grobe Orientierung beim Vergleichen der beiden Systeme setzen wir vor, dass es um eine homogene Ofenbeschickung sich handelt und dass die Elektroden aus einigen regelmässigen geometrischen, rechnerisch leicht thermisch beherrschbaren Körper, zusammengesetzt sind.

3.1. Runde Elektroden.

Bei runden Elektroden taucht das Elektrodenende, das gewöhnlich von einer halbkugeligen Form ist, ein. /Fig.1./

Für eine halbkugelige Elektrode und konzentrische Halbkugel gilt für den Durchgangswiderstand die Formel /1/:

$$R_{p0} = \frac{U_{or}}{I'} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \kappa} \cdot \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_2} \right) \quad [\Omega] \dots \dots /1/$$

wo U_{or} = Potenzialunterschied der Kugeloberfläche von Halbmesser r_0 in cm und der konzentrischen Kugel von Halbmesser r_2 , I' = zugeführter Strom /I wäre der Strom, wenn die Kugel ganz wäre/,

κ = Leitfähigkeit der Umgebung in S/cm.

Also für ein halbkugeliges Elektrodenende von einem Durchmesser $d_0 = 130$ dm /es kann bis 150 cm sein/, und für eine Elektrodenentfernung $l = 300$ cm, ist $r_0 = 65$ cm, $r_2 = 150$ cm und der Durchgangswiderstand:

$$R_{p0} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \kappa} \cdot \left(\frac{1}{65} - \frac{1}{150} \right) = \frac{1}{\kappa} \cdot (0,00245 - 0,00106) = \frac{1}{\kappa} \cdot 0,00139 \quad [\Omega]$$

Für den zylindrischen Teil über das halbkugelige Elektrodenende gilt es für den Durchgangswiderstand der Elektrode von einer Länge die Formel:

$$R_{p1} = \frac{U_{l2}}{I''} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot l} \cdot \ln \frac{r_2}{r_0} \quad [\Omega] \dots \dots /2/$$

Also für das angenommene Elektrodentauchen von 100 cm ist der zylindrische Teil $l = 100 - 65 = 35$ cm und der zugehörige Durchgangswiderstand:

$$R_{pv} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot 35} \cdot \ln \frac{100}{65} = \frac{1}{\kappa} \cdot 9,00381 \text{ [}\Omega\text{]}$$

Resultierender Durchgangswiderstand $R_{p\phi}$ der runden Elektroden ergibt sich aus der Beziehung:

$$\frac{1}{R_{p\phi}} = \frac{1}{R_{p\phi}} + \frac{1}{R_{pv}} = \frac{\kappa}{9,00139} + \frac{\kappa}{9,00381} = \kappa \cdot 983; \quad R_{p\phi} = \frac{1}{\kappa} \cdot 9,00102 \text{ [}\Omega\text{]}$$

3.2. Rechteckige Elektroden.

Für eine rechteckige Elektrode gleiches Querschnittswie im vorigen Falle, d.h. $\phi = 130$ cm, Querschnitt = $13 \cdot 300 \text{ cm}^2$ ist bei einer Breite von 65 cm, die Elektrodenlänge 220 cm. Bei den grössten Ofen ist gewöhnlich diese Länge viel grösser.

Das tauchende Ende der rechteckigen Elektrode mit abgerundeten Schmalseiten kann man für Vergleichung als endliche Linienquelle annehmen /Fig.2./.

Es gilt für diese in einer unendlichen Umgebung /1/:

$$U_0 = \frac{I}{8 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot l} \cdot \ln \frac{l + \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + l^2}}{-l + \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + l^2}} \dots (3)$$

respektive nach Vernachlässigung von $\frac{1}{2} \left(\frac{d}{2l}\right)^2$:

$$U_0 = \frac{I}{4 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d}$$

wo: U_0 ist Potenzial der equipotenzialen Ersatzoberfläche /Ellipsoid/,

a = grosse Halbachse der Ellipse in cm,

$\frac{d}{2}$ = kleine Halbachse der Ellipse in cm,

l = halbe Entfernung von Brennpunkte in cm, $l = \sqrt{a^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$

I = der zugeführte Strom in A,

κ = Leitfähigkeit der Umgebung in S/cm

In unserem Falle ist der ganze Raum durch die über die Brennpunkte gehende Isolierenebene der Beschickungsoberfläche geteilt und daher müssen wir eine Hälfte des Stromes $I = \frac{I}{2}$ nehmen. Der Durchgangswiderstand der Elektrode wird annähernd in einer unendlichen Umgebung:

$$R_p = \frac{U_0}{I} = \frac{U_0}{\frac{I}{2}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d_0} \quad [\Omega]$$

respektive genauer:

$$R_p = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot l} \cdot \ln \frac{l + \sqrt{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 + l^2}}{-l + \sqrt{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 + l^2}} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot l} \cdot \ln \frac{a+l}{a-l} \quad [\Omega] \dots (4)$$

wo $l = \sqrt{a^2 - \left(\frac{d_0}{2}\right)^2}$

Also für eine rechteckige Elektrode von der Breite $d_0 = 65$ cm und Länge $2a = 220$ cm, d.h. $l = \sqrt{110^2 - \left(\frac{65}{2}\right)^2} = 105$ cm bekommen wir für den Durchgangswiderstand des Elektrodenende in unendlicher Umgebung:

$$R_{pe} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot 105} \cdot \ln \frac{110 + 105}{110 - 105} = \frac{1}{\kappa} \cdot 0,00285 \quad (\Omega)$$

/Mit Berechnung nach der annähernden Formel $\frac{1}{\kappa} \cdot 0,00277 \Omega$, was nur um 3% weniger ist/.

In Wirklichkeit ist die Umgebung begrenzt, man kann annehmen dass durch einen konzentrischen Halbellipsoid von kleinerer Halbachse 150 cm und der Durchgangswiderstand wird um dessen Durchgangswiderstand verkleinert:

$$R_p = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot l} \cdot \ln \frac{l + \sqrt{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 + l^2}}{-l + \sqrt{\left(\frac{d_0}{2}\right)^2 + l^2}} =$$

$$= \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot 105} \cdot \ln \frac{105 + \sqrt{150^2 + 105^2}}{-105 + \sqrt{150^2 + 105^2}} = \frac{1}{\kappa} \cdot 0,00099 \quad [\Omega]$$

Also der Durchgangswiderstand des Elektrodenende:

$$R_{pe} = \frac{1}{\kappa} (0,00285 - 0,00099) = \frac{1}{\kappa} \cdot 0,00186 \quad [\Omega]$$

Der Durchgangswiderstand des eingetauchten Elektrodenrestes $100 - 32,5 = 67,5$ cm = b kann annähernd als aus 2 halbzylindrischen Teile von Durchmesser 65 cm und aus 2 ebenflä-

chigen Teile von Breite 220-65=155 cm /zwischen ihnen/ zusammengesetzt, ausgerechnet werden.

Der Durchgangswiderstand der halbzyllindrischen Teile einer rechteckigen Elektrode ist nach der schon angewandten Formel für die zylindrische Elektrode:

$$R_{pv} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot 67,5} \cdot \ln \frac{72,5}{32,5} = \frac{1}{\kappa} \cdot 0,00189 [\Omega]$$

Der Durchgangswiderstand der beiden ebenflächigen Teile der rechteckigen Elektrode ist:

$$R_{pp} = \frac{1}{2 \cdot (2a - d_0) \cdot b \cdot \kappa} \cdot \left(\frac{e}{2} - \frac{d_0}{2} \right) [\Omega] \dots (5)$$

$$R_{pt} = \frac{1}{2 \cdot (220 - 65) \cdot 67,5 \cdot \kappa} \cdot \left(\frac{300}{2} - \frac{65}{2} \right) = \frac{1}{\kappa} \cdot 0,00562 [\Omega]$$

Resultierenden Durchgangswiderstand der rechteckigen Elektrode bekommen wir aus der Beziehung:

$$\frac{1}{R_{p\phi}} = \frac{1}{R_{pk}} + \frac{1}{R_{pv}} + \frac{1}{R_{pt}} = \frac{\kappa}{0,00186} + \frac{\kappa}{0,00189} + \frac{\kappa}{0,00562} = \kappa \cdot 1246$$

$$R_{p\phi} = \frac{1}{\kappa} \cdot 0,000804 [\Omega]$$

Zusammenfassend, der Ofen mit rechteckigen Elektroden in Vergleichung mit runden Elektroden hat einen Durchgangswiderstand der Elektroden $\frac{0,000804}{0,00102} : 100 = 78\%$ und also nachteiliger was die Sekundärspannung und den Wirkungsgrad betrifft, wenn auch der Arbeitswiderstand aus Durchgangswiderstand und aus Lichtbogenswiderstand besteht, womit dieser Unterschied etwas gemildert wird. In der Tat ist die Entfernung zwischen den Elektroden kleiner bei den rechteckigen Ofen als bei den runden Ofen und zwar nur etwa 200 cm, maximum 280 cm bei den grössten Ofen und dadurch wird ihrer Durchgangswiderstand noch kleiner und daher nachteiliger in Vergleichung mit runden Ofen.

Kelly /2/ auf Grunde der empirischen Ergebnisse wählt für die gleichwertigen rechteckige und runde Ofen, die gleiche lichte Entfernung zwischen den Elektroden.

4./ Entweichen der CO-Gase.

Für die Berechnung der Widerstände gegen Strömung /der Strömungsverluste/ der Ofenbeschickung aus einer Mischung, von Kalk und Koks bestehend, kann man die für Strömung der Gase durch Haufwerke und porige Güter gültige Formel anwenden, zum Beispiel nach Prof. Krischer /3/.

Der Druckverlust durch die Strömung ist nach der Gleichung /22/:

$$\Delta P = \Delta P_{\infty} + \Delta P_{\text{lam}} = (\zeta_{\infty} + \zeta_{\text{lam}}) \cdot \frac{\rho \cdot l \cdot w_m^2}{d_m} \cdot \frac{w_m^2 \cdot l}{2g} \dots (6)$$

$$\text{wo } \zeta_{\text{lam}} = \frac{64}{Re} \quad \text{und} \quad Re = \frac{w_m \cdot d_m}{\nu}$$

$$\text{und } \zeta_{\infty} = \frac{d_m}{\mu \cdot l \cdot \lambda} \cdot \left(\frac{f_m}{f_1}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{f_1}{f_2}\right)^2 \dots (7)$$

respektive resultierendes aus der Abb.8. der Darstellung der ζ -Werte in Abhängigkeit von der Reynolds-Zahl Re /Fig.3./.

Dabei: w_m = mittlere Geschwindigkeit,

d_m = mittlerer Durchmesser der Ersatzrohre,

f_1, f_2, f_m = Flächen der Querschnitte 1,2 und mittlere,

l = Länge der Ersatzrohr.

Bei Voraussetzung gleicher Zusammensetzung und Körnung der Beschickung und gleicher Erzeugung die Druckverluste werden in Abhängigkeit von dem Umfang der Elektrode, d.h. für runde Elektrode $O_{\phi} = \pi \cdot 130 = 408 \text{ cm}$ und für rechteckige Elektrode $O_{\phi} = \pi \cdot 55 \cdot 2 \cdot /220-65/ = 544 \text{ cm}$:

$$\Delta P = k \cdot l \cdot \frac{1}{O_{\phi}^2} \dots (8)$$

da die Geschwindigkeit annähernd $w_m = \text{Konst.} \cdot \frac{1}{O_{\phi}}$

Also für die runde Elektrode:

$$\Delta P_{\phi} = k \cdot l \cdot \frac{1}{O_{\phi}^2} = k \cdot \left(35 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{130}{4}\right) \cdot \frac{1}{408^2} = k \cdot \frac{1}{1930} \dots (8a)$$

und für die rechteckige Elektrode:

$$\Delta P_{\phi} = k \cdot l \cdot \frac{1}{O_{\phi}^2} = k \cdot \left(67,5 + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{65}{4}\right) \cdot \frac{1}{544^2} = k \cdot \frac{1}{3170} \dots (8b)$$

Das Verhältnis der Druckverluste: $\frac{\Delta P_{\phi}}{\Delta P_{\phi}} = \frac{1930}{3170} = 0,61$
d.h. die Druckverluste der aus dem Ofen mit rechteckigen Elektroden entweichende CO-Gase gleichen annähernd nur 61% der

Druckverluste der aus dem Ofen mit runden Elektroden entweichenden CO-Gase.

5. Zusammenfassung aus der erhaltenen Ergebnisse.

Aus der Ergebnisse voriger Berechnungen wir gelangen leicht zur Konklusion:

1./ Symmetrische Ofen mit runden Elektroden haben einen besseren elektrothermischen Wirkungsgrad, aber sie stellen einen grösseren Widerstand gegen dem Entweichen des Kohlenoxyd aus der Ofensreaktionszone dar.

Sie erfordern dafür erstklassige Rohstoffe ohne Staub. Besonders kalzinierter Rückkalk, der im Ofen teils auf Staub zerfällt, ist unverlangt. Ausserdem auch Koks muss einen niedrigeren Aschengehalt haben, die die Bildung einer klebenden Schlacke verursacht, da bei rechteckigen Elektroden diese Schlacke ebenso wie der abgesetzte Staub leichter aus den Absaugkanäle entfernt werden kann.

Aber mit erstklassigen Rohstoffe die symmetrischen Ofen erreichen bessere Erfolge /besserer elektrothermische Wirkungsgrad/ als rechteckige Ofen.

Ausserdem die symmetrischen Ofen haben kleinere, also günstigere Kühloberfläche und dafür sie sind weniger empfindlich auf das Erkalten während der Ausschaltung des Ofens. Dafür es ist möglich bei ihnen eine längere Ausschaltung des Ofens, oder Herabsetzung der Belastung als bei rechteckigen Ofen.

Da symmetrische Ofen drei Abstichöffnungen haben, hochprozentiges visköseres Karbid fliesst leichter aus ihnen, ebenso wie auch dabei sich bildende Schlacke.

Erzeugtes hochlitriges Karbid ist vorteilhafteres hauptsächlich bei der Beförderung auf grössere Entfernungen /Export/.

2./ Rechteckige Ofen haben einen niedrigeren elektrothermischen Wirkungsgrad, aber sie sind weniger empfindlich auf feinkörnige Rohstoffe, womit teilweise der Nachteil kleineres Durchgangswiderstandes der rechteckigen Elektroden kompensiert werden kann.

102

stert wird /feinkörniger Kohlenmaterial hat einen grösseren Widerstand als grobkörnig/.

Mit Rücksicht auf einzige in die Trommel endende Abstichschnauze und lange Elektroden der rechteckigen Öfen, das hochlitrige Karbid fliesst schwerer aus ihnen und dafür man erzeugt in ihnen nur niederlitriges Karbid von etwa 265-270 L/kg. Dieses entspricht für weiteres Verarbeiten im Werke, zum Beispiel auf Acetylenherzeugung in trockenen Entwickler, aber ist nachteilhaft für die Beförderung auf grössere Entfernungen /Export/.

Auch die Tatsache, dass nur niederlitriges Karbid erzeugt wird, also dass man mit einer Beschickung von kleinerem Gehalt an leitenden Koks arbeitet, vermindert den Nachteil eines kleineren Durchgangswiderstandes des Ofens und daher es ist möglich mit einer gleich grossen Elektrodenspannung zu arbeiten.

Da man die Länge des Elektrodenquerschnittes nach Bedarf gross wählen kann, es ist möglich rechteckige Öfen grösserer Leistung /60 MVA/ zu konstruieren, was bei symmetrischen Öfen mit runden Elektroden nicht möglich ist und zwar teils wegen des wachsenden Skineffektes, teils wegen des unregelmässigen Koken von Elektroden /erreichte Leistung nur cca 40 MVA/.

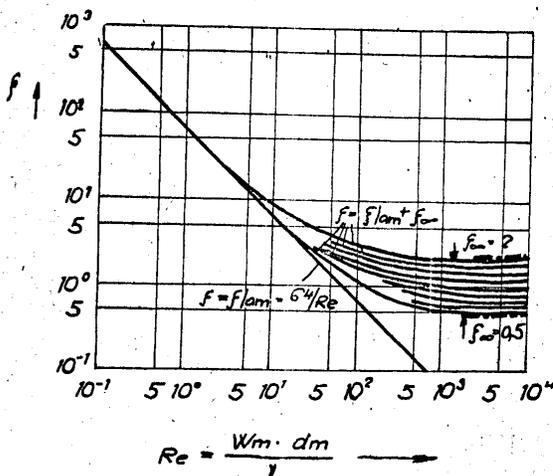
Auch die Konstruktion des Ofens und dessen Chargieren ist einfacher bei den rechteckigen Öfen.

Rechteckige Öfen sind also vorgerbestimmt für masseartige Erzeugung niederlitriges Karbides, aus minderwertigen Kokse, das auf weiteres Verarbeiten auf Acetylen bestimmt wird, während symmetrische Ofen für Erzeugung hochlitriges Karbides /für Export/, aus erstklassigen Kohlenrohstoffe, respektive für Leistungserniedrigungen während der Stromspitzen, vorteilhafter sind.

Nováky, 25.5.1962

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s :

- /1/ Prof.Ing.Dr. L. Kneppo: Prúdivé pole, Bratislava 1951.
- /2/ Journal du Four Electrique, N° 1 - 1959, S.27-32:
W.M.Kelly: Calcul et construction du four a arc submergé.
- /3/ Chemie-Ingenieur-Technik, März 1962, S.154-162:
Prof.Dr.Ing.O. Krischer : Vorgänge der Stoffbewegung durch
Hauferke und porige Güter bei Diffusion, Molekularbewegung
sowie laminarer und turbulenzartiger Strömung.



**MAGNETISCHE BEHANDLUNG VON WASSER UND VON ANDEREN FLÜSSIGKEITEN
GEGEN INKRUSTATION UND KORROSION**

Jaç. J.L.F. Moonen
Firma Epurex
Antwerpen, Belgien

E i n l e i t u n g .

E i n i g e a l g e m e i n e B e g r i f f e .

Über die theoretischen Grundlagen des CEPI-Verfahrens wurde bereits an verschiedenen Stellen berichtet. Wir werden uns hier auf einige der meist gangbaren Begriffe beschränken.

1) Es ist bekannt, dass jeder elektrische Strom senkrecht zu seiner Stromrichtung magnetische Felder erzeugt, und umgekehrt, dass ein elektrischer Strom erhalten wird, wenn ein Leiter (elektrische Masse) durch veränderliche, magnetische Felder bewegt wird (Dynamo Prinzip).

2) Ferner ist bekannt, dass die Richtung des Weges von Elektronenbündeln im Raum verändert wird, wenn diese magnetischen Feldern ausgesetzt werden (Beispiel: Elektronenmikroskop).

3) Aus der Physik und aus der Kernlehre wissen wir, dass jede Masse auch als elektrische Masse arbeiten kann.

4) Diese Flüssigkeit (Wasser-Milch-Bisulfitlauge u. s. w.) besteht aus unendlich vielen Masse-Individuen (Wassermolekül, Salzmolekül, H^+ , OH^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} Ionen u.s.w.) neben Schwebeteilchen kolloidaler oder makroskopischer Natur.

5) An allen diesen elektrischen Masse-Individuen interessieren uns besonders die Aussenvalenzelektroden (Para- und Diamagnetismus der Elektronenbahnen und des Elektronenspins).

Anwendungen der Theorie auf das CEPI-Verfahren

1) Der CEPI-Apparat arbeitet genau wie ein Generator (Dynamo) und zwar wie dessen Stator, der verschiedene magnetische Felder aufbaut. Im Dynamo werden die Magnetfelder von den Wicklungen des Rotors, in dessen Kupferdrähten die Elektronen beschleunigt werden, durchleitet. Die Stelle des Leiters vertritt die Summe der Ionen der Flüssigkeit. Diese durchlaufen eine Reihe von senkrecht zu ihrer Bewegungsrichtung stehenden, wechselnden Magnetfeldern. Hierdurch wird ihre elektrische Masse, insbesondere diejenige ihrer Aussenvalenzelektroden, erhöht und es vergrößert sich somit auch ihre elektrische Energie (Bild 1 und Bild 2).

2) Im Molekül erhält man ein räumlich und energiemässig sehr genau ausbalanziertes System von Kraftfeldern elektrischer und magnetischer Natur.

Schon Ampère nahm an, dass innerhalb der Materie (Atom - Ion - Moleküle) sehr viele Stromkreisläufe auftreten, die durch die Elektronenbahnen erzeugt werden und die sich gegenseitig induktiv beeinflussen. Ihre sie umgebenden Magnetfelder halten sich im Inneren der Materie gewissermassen die Waage, so dass sie dort nicht sinnfällig in Erscheinung treten während sie an den Grenzflächen der Materieteilchen frei auftreten und wirksam werden (Bild 3).

Gelingt es z.B. auch zunächst nur die Geschwindigkeit eines einzigen Elektrons und somit auch Lage und Durchmesser seiner Bahn zu verändern, so muss zwangsläufig das gesamte innere Kraftgefüge des Moleküls verzerrt werden, und das gesamte System kann erst nach Aufhören der von aussen kommenden Krafteinwirkung allmählich abklingend wieder in seinen normalen Zustand zurückkehren.

Auf die Aussenelektronen kann mit chemischen Mitteln aber auch mit starken magnetischen Wellen einwirken.

3) Durch das CEPI-Verfahren werden nun folgende Vorgänge aufgelöst:

Die Ionen der Flüssigkeit bewegen sich (als Rotor) durch die senkrecht zur Flüssigkeitsbewegung gerichteten magnetischen Wechselfelder des Apparates (als Stator)

a) die Umlaufgeschwindigkeit der Aussenelektronen wird erhöht (aus G_1 wird G_2) und diese bekommen ähnliche, wie ein durch Peitschenhieb beschleunigter Kreisel, erhöhte Zentrifugalkraft (aus Z_1 wird Z_2)

b) der Umfang der Moleküle wird grösser. (Durchmesser der Aussenbahnen) (aus U_1 wird U_2).

c) auch der "Spin" der Aussenelektronen ist schneller geworden (analog dem Drall des Kreisels)

d) die absolute Masse der in Raumeinheit der Flüssigkeit enthaltenen Ionen ist durch die Vergrößerung des Umfangs (Durchmessers) der aktivierten Ionen grösser geworden. Die Zwischenräume der in ihr enthaltenen Ionenindividuen sind dagegen kleiner geworden.

4) Aber auch in den Ionen selbst sind durch die Energieerhöhung der Aussenelektronen Veränderungen eingetreten.

a) der Umlauf eines jeden einzelnen Elektrons ist ja als geschlossener, elektrischer Stromkreis aufzufassen. Dieser Umlauf ruft auch ein Magnetfeld hervor, das ihm zugehört und das zu seiner Grossordnung gehört.

b) auch durch den "Spin" wird ein zugehöriges Magnetfeld erzeugt

c) werden nun durch die Vorgänge im Cepi-Apparat Kreislaufstrom und Spin verstärkt, verstärken sich auch die zugehörigen ioneneigenen Magnetfelder und im Ion selbst treten Gleichgewichtsverschiebungen (Verspannungen) der magnetischen Kraftfelder und somit räumliche Verlagerungen auf.

5) Die moderne Physik sieht ja in der Elektronenbewegung überhaupt eher sphärische Schwingungen (Oszillationen) von Energie als die auf Kugelbahnen oder Ellipsoidschalenbahnen vor sich gehende Bewegung körperhafter Energieträger. So wird die Beeinflussungsmöglichkeit von Kristallogenen und Kristallgittern auf dem Wege über temporäre Phasen- und Wellenverschiebung der Elektronenenergie noch verständlicher.

6) Zwischen schwebenden Kolloidalteilchen unter sich (z.B. Schlammteilchen) wie auch zwischen solchen und den sie umgebenden Flüssigkeitsteilchen treten gegenseitige Wirkkräfte auf, die man gewöhnlich als Molekularkräfte bezeichnet, und magnetischer Natur sind.

Jedes Ion wird von einem wirksamen eigenmikromagnetischen Feld umgeben.

Derartige mikromagnetische Felder kann man messen (dies ist der Fall bei der Suszeptibilitätsmessung) und so erklärt sich daraus, dass sie sich auch mittels an sie herangeführter materieller Magnetfelder beeinflussen lassen.

Das mikromagnetische Feld beeinflusst den Aufbau des Kristallgitters. Die Verstärkung oder Verminderung bestehender Felder verändert die Grösse, wie auch die Lage des mikromagnetischen Feldes, so dass es gar nicht zu einer richtigen Kristallbildung kommt (Bild 4 - 5 - 6)

7) In wie ferne eine Beeinflussung des Wassermoleküls selbst eintritt, ist noch nicht festgelegt.

Bei der Dipolnatur des Wassermoleküls ist aber eine solche Beeinflussung denkbar.

Die Felder der im Wasser gelösten Salze stehen in einem ganz bestimmten Verhältnis zu den Feldern der Wassermoleküle. Die Wassermoleküle umhüllen dabei die Salzteilchen, oder die mikrokristallischen amorphen Salzteilchen: m.a.W., man kann sich vorstellen, dass durch Veränderung der zum Wassermolekül gehörigen Felder die Affinität Wassermolekül zu Salzteilchen (Kristall) aufgehoben oder doch wenigstens abgeschwächt wird, also damit um den einzelnen Salzteilchen oder dem einzelnen mikrokristallischen (amorphen) Salzteilchen gewissermassen ein aus Wassermolekülen bestehender "Mantel" erhalten bleibt, der vor Makrokristallisation schützt. (Bild 7, Bild 8).

Zusammenfassung

Zweck der magnetischen Flüssigkeitsaktivierung ist, in den Kristallgittern bestehende Inkrustationen bzw. an die Kristallogenen Steinbildner soviel Energie heranzubringen, dass die Elastizitätsgrenze der zugehörigen Kristallform überschritten wird.

Wir haben also mit einer Piezoelektrischen Erscheinung ähnlicher Magnetostriktion zu tun, deren mechanischer Effekt bis zur unelastischen Verformung (Bruch) der Kristallgitter ionisierbarer Verbindungen reicht.

108

Da die Valenzelektronen ionisierbarer Verbindungen leichter beeinflussbar sind als Ionen homopolarer Körper, erklärt sich auch die höhere Elastizität beispielsweise der Rohrzuckerkristalle.

Das praktisch nicht elektrolytisch dissoziierbare Zuckermolekül verliert seine Kristallisationsfähigkeit nicht.

Die durch den Cepi-Apparat verursachte Einwirkung auf die Flüssigkeiten ist rein physikalischer, nicht chemischer Natur. Die chemische Zusammensetzung bleibt absolut unverändert; das Wasser wird also nicht enthartet. Die gelösten Mineralsalze, die sich sonst beim Erwärmen oder bei einer Änderung des CO_2 -Gleichgewichtes in Form harter, unerwünschter und schädlicher Inkrustationen ausscheiden (Kesselstein, Wasserstein, Milchstein usw...) werden als weicher Schlamm, der leicht weggespült oder abgeschlemmt werden kann, ausfallen.

Die Auswahl der Cepi-Apparate erfolgt nach maximalem Durchfluss (Liter pro Minute) in der Zeit des höchsten Wasserverbrauchs (Spitzenabnahme).

Für den Angriff auf Inkrustationen aus konzentrierten chemischen Flüssigkeiten (Seewasser, Rohöl, Milch usw ..), ist eine Serie von Cepi-Apparaten hergestellt worden.